

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και αγροτικού
περιβάλλοντος

Εργαστήριο Μηχανολογίας

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	
Αριθμ. Πρωτοκ	308
Ημερομηνία	5-7-10



Πτυχιακή εργασία με θέμα:

**Γεωργία Ακριβείας, η περίπτωση της αραχίδας (*Arachis
hypogaea* L.) και του βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L.).
Πειράματα σε παραγωγικούς αγρούς στην Γεωργία των Η.Π.Α.**

Υπεύθυνοι καθηγητές: Γέμτος Θεοφάνης

Φουντάς Σπύρος

Κατσούλας Νίκος

Περιστερόπουλος Άγγελος

ΒΟΛΟΣ 2009



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 8807/1
Ημερ. Εισ.: 15-09-2010
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2009
ΠΕΡ

Περιεχόμενα

1. Περίληψη.....	4
2. Εισαγωγή	6
3. Γεωργία Ακριβείας.....	11
3.1 Ανάλυση της έννοιας της παραλλακτικότητας.....	11
3.2 Ζώνες διαχείρισης.....	14
3.3 Τεχνολογικό υπόβαθρο	15
3.3.1 Αισθητήρες - ανιχνευτές.....	15
3.3.2 Συστήματα ελέγχου	18
3.3.3 Τηλεπισκόπηση.....	19
3.4 Διαχείριση δεδομένων	20
3.5 Διεθνείς τάσεις	21
4. Χρήση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας στο βαμβάκι.....	22
4.1 Εισαγωγή.....	22
4.2 Υλικά και μέθοδοι	24
4.2.1 Δείκτες βλάστησης.....	26
4.2.2 Αισθητήρες εγγύς υπέρυθρου φωτός.....	27
4.2.3 Μέτρηση βιομάζας	27
4.2.4 Δημιουργία χαρτών βιομάζας και εφαρμογή μεταβαλλόμενης δόσης.....	28
4.3 Αποτελέσματα και συζήτηση.....	30
4.3.1 Ο δείκτης βλάστησης NDVI.....	30
4.3.2 Ρυθμιστές αύξησης.....	35
4.3.3 Αποφύλλωση	36
5. Χρήση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας στην αραχίδα	38
5.1 Εισαγωγή.....	38
5.2 Υλικά και μέθοδοι	40
5.2.1 Ανιχνευτές εγγύς υπέρυθρου φωτός	41
5.2.2 Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας	43

5.2.3 Κλασσική μέθοδος υπολογισμού της ωριμότητας.....	44
5.3 Αποτελέσματα και συζήτηση.....	48
6. Συμπεράσματα	55
7. Βιβλιογραφία.....	56

1. Περίληψη

Ο σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των μεθόδων γεωργίας ακριβείας σε παραγωγικούς αγρούς αραχίδας και βαμβακιού. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην πόλη του Tifton της Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και τα πειραματικά τεμάχια ήταν μέρος παραγωγικής έκτασης, ώστε να συγκριθούν οι νέοι μέθοδοι με τις εφαρμοζόμενες από χρόνια πρακτικές των παραγωγών. Πιο συγκεκριμένα, στην αραχίδα διερευνήθηκε κατά το πόσο μπορούμε να προβλέψουμε το ποσοστό ωριμότητας των καρπών της αραχίδας, ενός φυτού που ωριμάζει τους καρπούς υπογείως. Μέχρι τώρα οι παραγωγοί εκριζώνουν φυτά-δείκτες από όλο το χωράφι μια επίπονη εργασία. Με τη παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα εκτίμησης της ωρίμανσης από την ανεπαίσθητη αλλαγή του χρώματος των φύλλων που μετράται με την ανακλαστικότητα της κόμης στο φάσμα του κοντινού υπέρυθρου φωτός (Near infrared, 700-1400 nm).

Ταυτόχρονα, στο βαμβάκι ελέγχθηκε η αντίδραση των φυτών μετά από εφαρμογή διαφορετικής δόσης δύο φυτορυθμιστικών ουσιών, του Meriquat Chloride που παρεμποδίζει την υπερβολική βλάστηση και πρωιμίζει την παραγωγή και του ethephon (2-chloroethyl-phosphonic acid) που προκαλεί αποφύλλωση και άνοιγμα της κάψας του βαμβακιού. Το κριτήριο που επηρέαζε την δόση των ρυθμιστών αύξησης ήταν η ποσότητα βιομάζας ανα μονάδα επιφάνειας (πυκνότητα), το οποίο υπολογίζεται όπως προηγουμένως, μετρώντας την ανακλαστικότητα της κόμης.

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν ανιχνευτές κοντικού υπέρυθρου φωτός ώστε να υπολογιστούν οι δείκτες βλάστησης RVI και NDVI που αποδίδουν διαφορές βιομάζας και που συχνά χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της χλωροφύλλης της κόμης.

Με το τέλος των εργασιών και μετά την στατιστική ανάλυση καταλήξαμε πως:

Στην περίπτωση της αραχίδας δεν εξήχθησαν ασφαλή συμπεράσματα καθώς υπήρξε ανομοιόμορφη ανάπτυξη οφειλόμενη σε ανεπαρκή άρδευση, σε ένα πρώιμο παγετό αλλά και σε ακραία περιβαλλοντικά φαινόμενα που προξένησε ο τυφώνας "Fey" που έπληξε τις Νοτιοανατολικές ακτές των Η.Π.Α. στις 21 έως 23 Αυγούστου, ενώ η συνεχόμενη βροχή έφτασε τα 230mm. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα ήταν σαφώς ενθαρρυντικά και ενισχυτικά για την επανάληψη του πειράματος, έχοντας κατάληξη σε μία αδύναμη μα υπαρκτή συσχέτιση.

Στο βαμβάκι όντως μπορούμε να εφαρμόσουμε μεταβαλλόμενη δόση ρυθμιστών αύξησης στηριζόμενοι σε δεδομένα ανιχνευτών κοντινού υπέρυθρου φωτός. Με αυτόν τον τρόπο παρήχθη ίδια και περισσότερη ποσότητα προϊόντος μα με τη χρήση λιγότερων εισροών, που όχι μόνο έχει άμεσο οικονομικό όφελος για τον παραγωγό αλλά συνοδεύεται και από πολλά περιβαλλοντικά οφέλη λόγω της μειωμένης χρήσης χημικών σκευασμάτων.

2. Εισαγωγή

Γεωργία ακριβείας ονομάζουμε την αναδιοργάνωση ενός συστήματος εντατικής καλλιέργειας, με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των εισροών και την μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας των συντελεστών (Shibusawa et al., 1998). Κατά μία άλλη εκδοχή, ως γεωργία ακριβείας ονομάζεται η ολιστική διαχείριση αποφάσεων, η οποία στηρίζεται σε τεχνολογίες συλλογής δεδομένων από διαφορετικές πηγές μέσα στον αγρό, συνδεδεμένες με την βέλτιστη οργάνωση και διαχείριση των αγαθών, των οικονομικών και του προσωπικού μίας γεωργικής επιχείρησης (Olson, 1998).

Υπό τους παραπάνω ορισμούς, πρακτικές γεωργίας ακριβείας άρχισαν να εμφανίζονται από τα μέσα της δεκαετίας του 1980. Σκοπός ήταν η αποτελεσματικότερη εφαρμογή της λιπαντικής αγωγής, χρησιμοποιώντας την τότε διαθέσιμη τεχνολογία για την αυξομείωση της δόσης των λιπαντικών μονάδων με βάση την παραγωγικότητα του εδάφους (Thomasson et al., 2001). Στη συνέχεια, η ακρίβεια στις γεωργικές πρακτικές άρχισε να εξαπλώνεται ως φαινόμενο και στις υπόλοιπες φάσεις της καλλιέργειας, αναλόγως του τεχνολογικού και οικονομικοκοινωνικού επιπέδου. Χώρες όπως οι Η.Π.Α., ο Καναδάς, η Αργεντινή, η Βραζιλία, οι περισσότερες χώρες στην Ε.Ε., η Ιαπωνία, η Ινδονησία, η Αυστραλία και η Νέα Ζηλανδία υπήρξαν από τις πρώτες οι οποίες εφάρμοσαν συστηματικά μεθόδους γεωργίας ακριβείας. Ιστορικά σε μικρής έκτασης εκμεταλλεύσεις, ο παραγωγός ήταν σε θέση να αντιλαμβάνεται την παραλλακτικότητα και να διεξάγει τις καλλιεργητικές φροντίδες έτσι ώστε να την εξομαλύνει. Με την χρησιμοποίηση ολοένα και περισσότερων τεχνολογιών, έγινε δυνατή η διαχείριση όλο και μεγαλύτερων εκτάσεων με αποτέλεσμα σε πολλές περιοχές του πλανήτη με εντατική γεωργία η εφαρμογή γεωργία ακριβείας άρχισε να εξαπλώνεται και να αποδίδει μεγάλα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Θα πρέπει να τονισθεί ότι η γεωργία ακριβείας δεν είναι απλά η εφαρμογή νέων τεχνολογιών, μα περισσότερο μία επαναστατική χρήση πληροφοριών, η οποία έγινε προσιτή μετά από την χρήση νέων τεχνολογιών, με σκοπό μία υψηλότερου επιπέδου και ακρίβειας γεωργική πράξη (Robert, 2002).

Ήδη από την ανάγνωση των ορισμών γίνεται κατανοητό για ποιους λόγους είναι τόσο επωφελής η οργάνωση ενός σχεδίου γεωργίας ακριβείας. Στόχος κάθε παραγωγικής εκμετάλλευσης ήταν και παραμένει το θετικό οικονομικό αποτέλεσμα.

Κάτι τέτοιο μπορεί ως ένα βαθμό να εξασφαλιστεί με την χρήση νέων τεχνολογιών για την εξομάλυνση της παραλλακτικότητας των μέσων παραγωγής και ιδίως εκείνων επάνω στα οποία έχουμε ελάχιστη πρόσβαση. Για παράδειγμα, η πολυπλοκότητα του εδάφους αρχίζει να αναλύεται σε μετρήσιμες παραμέτρους και ως τέτοιες, εν δυνάμει ελεγχόμενες. Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις και οι προσβολές από εχθρούς και ασθένειες διαπιστώνονται με ακρίβεια όχι μόνο από πλευράς ταυτοποίησης, μα και ανίχνευσής τους στο χώρο. Ακόμη και βελτίωση των βασικών γεωργικών πρακτικών, όπως η κίνηση των μηχανημάτων για την μέγιστη εκμετάλλευση της γεωμετρίας του αγρού ή η καλλιέργεια εδαφών με απαγορευτικά γεωστατικά χαρακτηριστικά (όπως εξαιρετικά επικλινή εδάφη, ανισόπεδους αγρούς και γενικά περιοχές που δεν επιτρέπουν την απρόσκοπτη καλλιέργεια), μπορεί να γίνει δυνατή.

Οι πρακτικές ακριβείας αποτελούν μέρος της ολοκληρωμένης παραγωγής, δεδομένου ότι η σωστές γεωργικές πρακτικές μπορούν να βελτιωθούν εξαιρετικά με την χρήση της πληροφορίας που μπορούμε να συλλέξουμε μέσω των νέων τεχνολογιών. Ασφαλώς δεν θα μπορούσε να υπάρχει ένας και μόνο κοινός τρόπος εφαρμογής των μεθόδων ακριβείας και για αυτόν τον λόγο παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες παραλλαγές σε επίπεδο χώρας, καλλιέργειας και τεχνικής, προκειμένου να καλυφθούν οι ιδιάζουσες ανάγκες κάθε γεωργικής εκμετάλλευσης. Ταυτόχρονα, παρά αυτό το κλίμα ρευστότητας, έχουν σημειωθεί συγκεκριμένα όρια που καθορίζουν την ανάπτυξη των μεθόδων ακριβείας. Τέτοια είναι διάφοροι κοινωνικοοικονομικοί, επιστημονικοί και τεχνολογικοί φραγμοί.

Κοινωνικοοικονομικοί φραγμοί. Αναφέρονται σε έλλειψη χρημάτων και δεξιοτήτων, δηλαδή στην δυσκολία των καλλιεργητών να εγκαταλείψουν τις παραδοσιακές μεθόδους. Δυστυχώς στις περισσότερες γεωργικές εκμεταλλεύσεις της χώρας μας δεν επενδύονται μέρος των κερδών στην εκμάθηση και εφαρμογή νέων τεχνολογιών, ενώ οι παραδοσιακές μέθοδοι καλλιέργειας δεν αξιολογούνται όσο θα έπρεπε σε σχέση με καινούργιες.

Επιστημονικοί φραγμοί. Ακόμα και εάν υπήρχε μία καθολική επιθυμία από την πλευρά των καλλιεργητών για εφαρμογή νέων μεθόδων και τεχνολογιών, παραμένει η αδυναμία της επιστημονικής κοινότητας να καλύψει απόλυτα έστω και τις βασικές δυσκολίες. Ο αγροτικός κόσμος είναι άμεσα συνδεδεμένος με την επιστήμη της γεωπονίας όπου ακόμα σε ορισμένες περιοχές περισσότερο γίνονται εικασίες παρά απαντώνται σε βάθος προβλήματα όπως: ποιές είναι οι καταλληλότεροι μέθοδοι δειγματοληψίας και επισκόπησης, ακριβείς υποδείξεις

λιπαντικής αγωγής, διαχείριση λανθασμένων ενεργειών. Παρατηρείται επίσης η απουσία ειδικευμένων γεωπονικών υπηρεσιών σε επίπεδο περιοχής και χώρας.

Τεχνολογικοί φραγμοί. Τέλος, υπάρχουν φραγμοί που έχουν να κάνουν με την συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία. Τα μηχανήματα που κατασκευάζονται είναι εξοπλισμένα με αυτοματοποιημένα συστήματα, ανιχνευτές κάθε είδους, συστήματα γεωγραφικού προσδιορισμού (GPS), λογισμικά, μα ακόμα υπάρχει πολύς δρόμος μέχρι να φτάσουν σε ικανοποιητικό επίπεδο ακρίβειας. Ακόμα και από πλευράς χειριστών χρειάζεται να γίνουν βήματα, καθώς δεν έχει καθολικά κατακτηθεί η απλή χρήση υπολογιστών.

Είναι περισσότερο από βέβαιο ότι οι παραπάνω δυσκολίες θα αναιρεθούν με το χρόνο, καθώς παρατηρείται μία ολοένα και μεγαλύτερη τάση για αυτοματοποίηση της παραγωγής. Επιπλέον, η εγκατάλειψη των παραδοσιακών μορφών παραγωγής ως ασύμφορες, θα αναγκάσουν τον εκσυγχρονισμό των εμπλεκόμενων με την παραγωγή προκειμένου να απολαύουν τα οφέλη που προσφέρει η γεωργία ακριβείας (Robert, 2002).

Όσον αφορά την θετική επίδραση της γεωργίας ακριβείας σε μία περιοχή, δύο είναι τα αποτελέσματα που παρατηρούνται. Η οικονομική ωφέλεια του παραγωγού και περιβαλλοντικά-οικολογικά οφέλη της περιοχής.

Η πλέον άμεση επίδραση είναι η αύξηση της παραγωγικότητας σε επίπεδο αγροκτήματος. Με την γεωργία ακριβείας επιτυγχάνεται ακριβής παρακολούθηση και συντονισμός της παραγωγής, ελαχιστοποίηση των περιττών εισροών και αποτελεσματικότερος σχεδιασμός της αναμενόμενης προσόδου. Μέσω των πρακτικών της γεωργίας ακριβείας πετυχαίνεται η αποδοτικότερη χρήση των αγροχημικών (λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών προϊόντων) βάσει της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας. Με αυτόν τον τρόπο, οι παραγωγοί είναι σε θέση να διεξάγουν οικονομικές αναλύσεις σε κάθε ζώνη διαχείρισης έχοντας ακριβή δεδομένα της απόδοσης της εν λόγω περιοχής καθώς και της ακριβούς αγωγής που δέχτηκε προκειμένου να φτάσει σε αυτό το αποτέλεσμα. Περιοχές που παραδοσιακά αποδίδουν λιγότερα χρήματα από ότι κοστίζουν, είναι πλέον δυνατόν να απομονωθούν ώστε να τύχουν ειδικής μεταχείρισης και να μην επηρεάσουν την οικονομικότερη διαχείριση του υπόλοιπου αγροτεμαχίου (Goddard, 1997).

Παρ' όλα αυτά, το θετικό οικονομικό αποτέλεσμα είναι δύσκολο να υπολογιστεί (Lambert and Lowenberg-DeBoer, 2000). Στην πραγματικότητα οι παραγωγοί αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν όλες τις προσφερόμενες πληροφορίες

και δεν υπολογίζεται το πραγματικό οικονομικό αποτέλεσμα. Αντίθετα τα ολιστικά παραγωγικά συστήματα που λαμβάνουν υπ' όψη όλες τις δραστηριότητες μίας γεωργικής εκμετάλλευσης μπορούν να ωφεληθούν από την τεχνολογία της γεωργίας ακριβείας, μειώνοντας το ρίσκο και αυξάνοντας τις πιθανότητες κέρδους (Oriade and Popp, 2000). Είναι φανερό ότι το θεμέλιο ενός αποδοτικού συστήματος γεωργίας ακριβείας είναι η καλή οργάνωση των παραγωγικών κλάδων και των συλλεγόμενων δεδομένων.

Στις μέρες μας παρακολουθούμε την διεθνή ανησυχία για τις κλιματικές αλλαγές που μεταφράζεται στην όσο το δυνατόν ορθολογικότερη χρήση προϊόντων και πρακτικών, αν όχι για βελτίωση τουλάχιστον για την διατήρηση της υπάρχουσας κατάστασης. Στην Αυστραλία, στις Η.Π.Α. και κυρίως στην Ευρωπαϊκή Ένωση δημιουργούνται συνεχώς αυστηρότεροι νόμοι για την προστασία του περιβάλλοντος και την δυνατότητα ανίχνευσης υπολειμμάτων στα παραγόμενα τρόφιμα. Με την εφαρμογή γεωργίας ακριβείας, είναι δυνατή η ελαχιστοποίηση των χημικών εισροών και η χρήση μόνο των απαραίτητων ποσοτήτων αρδευτικού νερού. Ακόμα, μπορεί να υπάρξει πλήρης ανάλυση των εφαρμοζόμενων εφοδίων ανά στάδιο ανάπτυξης διαλευκαίνοντας πλήρως την ανίχνευση επικίνδυνων ή απαγορευμένων ουσιών στα τρόφιμα. Έτσι, με την γεωργία ακριβείας παρέχονται τα μέσα για την ακριβή και στοχευόμενη εφαρμογή οποιαδήποτε εισροής, με την δυνατότητα καταγραφής των μεταχειρίσεων ανά μέτρο καλλιέργειας, επιτρέποντας την ανίχνευση από εφαρμογή σε εφαρμογή με όλα αυτά τα δεδομένα να συνοδεύουν το τελικό προϊόν, (Stafford, 2000). Όλα τα παραπάνω συνηγορούν στην απόλυτη τήρηση και της αυστηρότερης νομοθεσίας. Όλα τα παραπάνω οδηγούν σε μια παγκόσμια αποδοχή της γεωργίας ακριβείας, αν και με βραδύτερο ρυθμό από ότι αναμένονταν εξ' αρχής (McBratney et al. 2005).

Στον Ευρωπαϊκό Νότο και ιδίως στην χώρα μας η ιδέα της γεωργίας ακριβείας βρίσκεται ακόμα στα σπάργανα. Οι βασικότεροι λόγοι έχουν να κάνουν με τον πολυτεμαχισμένο και μικρό γεωργικό κλήρο, το χαμηλό μορφωτικό επίπεδο των καλλιεργητών και την αδυναμία τους να υιοθετήσουν νέες μεθόδους, αλλά και στην έλλειψη τεχνολογίας και εφαρμοσμένης έρευνας (Αγγελοπούλου 2008). Παρ' όλα αυτά, αναμένεται ταχύτατη εξάπλωση κυρίως κάτω από την πίεση της αγοράς για φθηνότερα και ποιοτικά προϊόντα, την γενικότερη στροφή της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς την ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, μα και λόγω της

απαξίωσης του εξοπλισμού καθώς όλα τα καινούργια γεωργικά μηχανήματα είναι εφοδιασμένα με συσκευές ακριβείας.

3. Γεωργία Ακριβείας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθούν οι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν προκειμένου να οργανωθεί σωστά ένα σχέδιο γεωργίας ακριβείας. Αρχικά θα εξηγηθεί η έννοια και τα είδη της παραλλακτικότητας. Στη συνέχεια θα αναπτυχθεί το βασικότερο εργαλείο του ελέγχου της παραλλακτικότητας που είναι ο διαχωρισμός του αγρού σε υποπεριοχές κοινής διαχείρισης και αργότερα θα παρουσιαστούν οι βασικές κατηγορίες των τεχνολογικών εργαλείων που έχουμε στη διάθεσή μας. Η επόμενη ενότητα θα περιέχει την σημαντικότητα της διαχείρισης δεδομένων και τέλος θα αναφερθεί προς τα πού κινείται η διεθνής τάση.

3.1 Ανάλυση της έννοιας της παραλλακτικότητας

Μέχρι την πρόσφατη εποχή που οι παραγωγοί καλλιεργούσαν χειρονακτικά ήταν σε θέση να γνωρίζουν την ανομοιομορφία των αγρών από καθαρή εμπειρία. Έτσι μπορούσαν να προσαρμόζουν τις ενέργειές τους σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κάθε τεμαχίου, συνήθως πολύ μικρού, που η εμπειρία τους υποδείκνυε την παραλλακτικότητα τους. Μετά την εκμηχάνιση της γεωργίας και την αύξηση του γεωργικού κλήρου, ήταν αδύνατον να ελεγχθεί η διαφοροποίηση και όλες οι φροντίδες γίνονται θεωρώντας το αγροτεμάχιο ως ομοιόμορφο. Έτσι εφαρμόζουμε παντού την ίδια ποσότητα σπόρου, νερού, λιπάσματος και προϊόντων φυτοπροστασίας ενώ είναι δεδομένο ότι οι ανάγκες δεν είναι ίδιες. Με αυτόν τον τρόπο, κάποια σημεία δέχονται λιγότερες εισροές ενός είδους και περισσότερες ενός άλλου, επηρεάζοντας δυσμενώς την παραγωγή, σπαταλώντας πόρους και επιβαρύνοντας το περιβάλλον. Για τους παραπάνω λόγους, η παραλλακτικότητα οποιουδήποτε παράγοντα ικανού να επηρεάσει την παραγωγή γίνεται πολύ σημαντική, ώστε θα πρέπει να ανεβρεθεί και να εξομαλυνθεί. Εκείνες οι μορφές που ενδιαφέρουν περισσότερο την γεωργική πράξη τοποθετούνται στις εξής κατηγορίες (Zhang et al, 2002):

- Παραλλακτικότητα παραγωγής. Είναι η κατανομή της παραγωγή που παρατηρείται επί σειρά ετών σε ένα έδαφος. Είναι η μόνη μορφή παραλλακτικότητας που μπορεί να αντιληφθεί μακροσκοπικά ένας παραγωγός, λόγω εμπειρίας μετά από χρόνια καλλιέργειας.

- Παραλλακτικότητα τοπογραφίας εδάφους. Το τεμάχιο γης επάνω στο οποίο εγκαθίσταται η καλλιέργεια μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή, καθώς δεν είναι ομοιογενές από πλευράς τοπογραφίας (κλίση, υψομετρική διαφορά, έκθεση, ύπαρξη αναβαθμίδων, απόσταση από τα σύνορα άλλης καλλιέργειας, απόσταση από στραγγιστικό ή αρδευτικό δίκτυο).
- Παραλλακτικότητα εδάφους. Ομοίως, σε κανένα σημείο του το έδαφος δεν είναι ομοιογενές από πλευράς μηχανικής σύστασης, θρεπτικών στοιχείων, υδραυλικών και χημικών ιδιοτήτων.
- Παραλλακτικότητα καλλιέργειας. Αυτή η παράμετρος έχει να κάνει με την φυσική παραλλακτικότητα του καλλιεργούμενου είδους, που οφείλεται εξολοκλήρου στον γενότυπο της χρησιμοποιούμενης ποικιλίας.
- Παραλλακτικότητα οφειλόμενη σε ασθένειες, εχθρούς και αβιοτικούς παράγοντες. Έχει να κάνει με την διαφοροποίηση της ανάπτυξης και της παραγωγής λόγω της διαφοράς φυτρώματος, ύπαρξης ζιζανίων, ανάπτυξης ασθενειών, προσβολής εχθρών (έντομα, νηματώδεις, ζώα) και λόγω αβιοτικής καταπόνησης όπως αέρας, βροχή, χαλάζι ή και άλλων.
- Παραλλακτικότητα λόγω διαχείρισης. Έχει να κάνει με τις αγρονομικές επιλογές του καλλιεργητή. Τέτοιες μπορούν να είναι η επιλογή του καλλιεργούμενου είδους και της χρησιμοποιούμενης ποικιλίας, η πρακτικές καλλιέργειας, οι αποστάσεις φύτεψης, η δόση λίπανσης, η επιλεγόμενη φυτοπροστασία, ο τρόπος και η δόση άρδευσης και το σύστημα αμειψισποράς.

Από όλες τις παραπάνω περιπτώσεις η πλέον σημαντική είναι η παραλλακτικότητα της παραγωγής καθώς αυτή είναι που ουσιαστικά επηρεάζει άμεσα το οικονομικό αποτέλεσμα. Για αυτόν τον λόγο, η περισσότερη έρευνα έχει επικεντρωθεί στην γονιμότητα του εδάφους και κυρίως στην περιεκτικότητα του αζώτου, όχι μόνο είναι γιατί είναι το πιο ευμετακίνητο στοιχείο μα και γιατί φαίνεται να έχει γραμμική συσχέτιση με το ύψος της παραγωγή. Κατά συνέπεια, μέχρι πρόσφατα τα πειράματα στην μεταβαλλόμενη δόση αζώτου κυριαρχούσαν στον τομέα των επιστημονικών εργασιών και μόλις τα τελευταία χρόνια άρχισαν να δημοσιεύονται εργασίες επικεντρωμένες σε άλλα θρεπτικά και προϊόντα φυτοπροστασίας.

Για τον έλεγχο της παραλλακτικότητας χρησιμοποιούνται ευρέως δύο τρόποι διαχείρισης, ο ένας βασίζεται σε χάρτες παραλλακτικότητας και ο άλλος σε ανιχνευτές. Ο πρώτος έχει να κάνει με την συλλογή των δεδομένων, την αποτύπωση των πληροφοριών σε ένα χάρτη, την λήψη αποφάσεων και την εφαρμογή τους εκ των υστέρων στον αγρό. Για να συμβεί κάτι τέτοιο, απαιτείται σωστή δειγματοληψία, ανάλυση των δειγμάτων, δημιουργία ενός χάρτη παραλλακτικότητας με τοπογραφικές ενδείξεις, λήψη απόφασης και σχεδιασμός επί χάρτου της εφαρμογής και τέλος χρήση του χάρτη για τον προγραμματισμό του κατάλληλου μηχανήματος. Γενικά θεωρείται ότι είναι ευκολότερη ως μέθοδος παρ' όλο που απαιτείται η χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GPS – Global Positioning System), βοηθητικών λογισμικών και μηχανημάτων για την ακριβή εφαρμογή των αποφάσεων στον αγρό.

Απεναντίας, η μέθοδος των αισθητήρων στηρίζεται στις απ' ευθείας (on the go) μετρήσεις των ανιχνευτών των ιδιοτήτων των φυτών, του εδάφους ή οτιδήποτε άλλο είναι υπεύθυνο για την πιθανή μείωση της παραγωγής (π.χ. μετεωρολογικά φαινόμενα) και στην ταυτόχρονη εφαρμογή του σχεδίου καλλιέργειας είτε πρόκειται για λίπανση, άρδευση, καταστροφή ζιζανίων, ή οποιαδήποτε άλλο μέτρο θα μείωνε την παραλλακτικότητα της παραγωγής. Συνήθως οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι επάνω στο μηχάνημα εφαρμογής όπου συλλέγουν δεδομένα και αμέσως ενημερώνουν τα συστήματα εφαρμογής που έπονται και είναι προσαρτημένα στο ίδιο μηχάνημα. Καταλαβαίνουμε ότι σε αυτό το σύστημα η μονάδα ελέγχου δεν είναι πλέον ένα μικρό τεμάχιο αγρού που δέχεται ξεχωριστή μεταχείριση την οποία έχουμε προαποφασίσει, αλλά κάθε φυτό ατομικά που η μεταχείριση του απορρέει από τις απ' ευθείας μετρήσεις των αισθητήρων.

Σχετικά με το ποιο από τα δύο συστήματα είναι αποδοτικότερο αναφέρουμε ότι οι περισσότερες εργασίες έχουν γίνει με συστήματα γεωργίας ακριβείας που βασίζονται σε χάρτες. Κάτι τέτοιο συμβαίνει γιατί η τεχνολογία των απ' ευθείας συστημάτων δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής ενώ οι αυτού του είδους οι ανιχνευτές είναι ακριβοί και δυσεύρετοι ή ακατάλληλοι για άλλες πλην των συγκεκριμένων εργασιών. Αντίθετα, αναβαθμισμένες γεωδαιτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της παραλλακτικότητας (Pena-Yewtukhiw et al., 2000) μέσω χαρτών, όπως εικόνες δορυφόρων ή αεροφωτογραφίες, ενώ μοντέλα προσομοίωσης καλλιεργειών χρησιμοποιούνται για την δημιουργία χαρτών παραγωγής ώστε να δημιουργηθούν μεταβαλλόμενες δόσεις αγροχημικών (Werner et al., 2000). Τέτοια μοντέλα

προσομοίωσης βασίζονται σε περιβαλλοντικές και εδαφολογικό-κλιματικές μετρήσεις για την πρόβλεψη της ανάπτυξης των φυτών και των πιθανών προσβολών από έντομα και ασθένειες. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι προς το παρόν η χρήση χαρτών παραλλακτικότητας επικρατούν στα συστήματα γεωργίας ακριβείας, αν και ο απώτερος σκοπός είναι η χρήση των απ' ευθείας συστημάτων.

3.2 Ζώνες διαχείρισης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω όταν εφαρμόζουμε γεωργία ακριβείας με τη βοήθεια χάρτη παραλλακτικότητας, συλλέγουμε πληροφορίες μετά από δειγματοληψία. Ανάλογα με τη μέθοδο και τα όργανα δειγματοληψίας είναι δυνατόν να έχουμε από μόλις λίγες μετρήσεις έως πολλές χιλιάδες για τον ίδιο ακριβώς αγρό. Είναι εμφανές ότι όσο περισσότερα είναι τα δείγματα τόσο περισσότερο ακριβή χάρτη θα συντάξουμε. Παρ' όλα αυτά σε κάθε αγροτεμάχιο μπορούν να βρεθούν περιοχές με μικρές διακυμάνσεις παραλλακτικότητας τέτοιες ώστε να επιδέχονται κοινή διαχείριση. Με άλλα λόγια, μέσα στην γενικότερη παραλλακτικότητα ενός αγροτεμαχίου είναι δυνατόν να δημιουργηθούν ζώνες κοινής παραλλακτικότητας μέσα στις οποίες εφαρμόζουμε με επιτυχία την ίδια αγωγή. Ακόμα και χαρακτηριστικά, όπως η μηχανική σύσταση του εδάφους, που δεν είναι σε κανένα σημείο τους ομοιογενή μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μία ζώνη με ευρύτερα όρια ώστε να διαχειριστούν ως όμοια.

Έτσι λοιπόν διαχείριση ανά ζώνες ή υποπεριοχές (management zone) ορίζεται το σύστημα που διαχωρίζει τον αγρό σε τεμάχια με ομοιογενής παράγοντες, ικανούς να επηρεάσουν την παραγωγή, οι οποίοι ικανοποιούνται με την ίδια μεταχείριση (Doerge, 1998).

Σύμφωνα με τον ορισμό, ένα αγροτεμάχιο είναι δυνατόν να χωριστεί για παράδειγμα σε 5 υποπεριοχές, βάσει της παραλλακτικότητας σε επάρκεια φωσφόρου, αλλά και σε 7 διαφορετικές βάσει της παρουσίας μίας ασθένειας όπως το *Verticillium dahliae*. Έτσι, ο αριθμός των ζωνών διαχείρισης είναι ανάλογος του αριθμού των παραγόντων που μπορούν να επηρεάζουν την παραγωγή. Τελικά, ο ίδιος ο παραγωγός αποφασίζει ποιους παράγοντες θέλει να ελέγξει και αντίστοιχα ο αγρός χωρίζεται στις ανάλογες ζώνες διαχείρισης. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται συστήματα GPS και υψηλής ακρίβειας μηχανήματα εφαρμογής, δεν έχει σημασία το σχήμα των ζωνών και ο αριθμός τους, καθώς υπάρχει η δυνατότητα υψηλής ακρίβειας

κατά την εφαρμογή της αγωγής, όμως στην γεωργική πράξη, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν ο ήδη υπάρχων εξοπλισμός ώστε να σχεδιαστούν οι δυνατόν λειτουργικότερες ζώνες διαχείρισης (Kvien and Pocknee, 2000).

3.3 Τεχνολογικό υπόβαθρο

Ενώ οι γεωπόνοι έχουν τον κυρίαρχο ρόλο στην ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας, οι μηχανικοί εργάστηκαν επιμελώς ώστε να παραχθεί η απαραίτητη τεχνολογία για την εφαρμογή των πρακτικών ακριβείας. Οι εφευρέσεις έχουν να κάνουν με την εξέλιξη αισθητήρων, συστημάτων ελέγχου και τεχνολογίας τηλεπισκόπησης (Zhang et al, 2002).

3.3.1 Αισθητήρες - ανιχνευτές

Προκειμένου να συλλεχθούν πληροφορίες, ανιχνευτές διαφόρων τύπων είναι απαραίτητοι. Ουσιαστικά αποτελούν δειγματοληπτικές συσκευές καθώς συλλέγουν 'δείγματα' – πληροφορίες αντικαθιστώντας κλασσικές χρονοβόρες και ενεργειοβόρες μεθόδους όπως χειρονακτικές δειγματοληψίες υγρασίας εδάφους, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σάρωση για ασθένειες και ζιζάνια. Λειτουργούν με μία πληθώρα μεθόδων μα σχεδόν πάντοτε τοποθετούνται σε κάποιο μηχάνημα που κινείται μέσα στον αγρό όπου εκτός του υπό εξέταση παράγοντα ταυτοποιούν και την θέση δειγματοληψίας. Σε πολλούς από αυτούς τους ανιχνευτές, η μέτρηση γίνεται με περίοδο μικρότερη του ενός δευτερολέπτου με αποτέλεσμα σε κάθε δειγματοληψία να συγκεντρώνεται τεράστιος όγκος πληροφοριών.

Ανιχνευτές παραγωγής. Υπάρχουν τουλάχιστον τέσσερις μέθοδοι μέτρησης της παραγωγής με απ' ευθείας μέτρηση. Α) Με οπτικούς αισθητήρες όπου η επιφάνεια του συλλεγόμενου προϊόντος μετράται καθώς παρεμποδίζονται η αντανάκλαση του φωτός μέσα από τον αγωγό συλλογής ενός μηχανήματος συγκομιδής. Ως φως μπορεί να είναι ακτίνες στο φάσμα του ορατού ή σε άλλες περιοχές. Ακόμα, μέτρηση της παραγωγής μπορεί να γίνει κατ' εκτίμηση κατά την φάση ανάπτυξης της καλλιέργειας. Οι Solie et al. (2000) δοκίμασαν ανιχνευτές στο φάσμα του ερυθρού και του εγγύς υπέρυθρου φωτός, για την πρόβλεψη της παραγωγής κατά την διάρκεια της ανάπτυξης αλλά και την εφαρμογή μεταβαλλόμενης δόσης αζώτου σε σιτάρι. Β) Με ζυγαριές, όπου ο κάδος συλλογής

του μηχανήματος συγκομιδής είναι τοποθετημένος σε ειδικό ζυγό και μετράται κάθε κιλό προϊόντος που εισρέει στον κάδο συλλογής. Γ) Με μετρητές μαζικής ροής. Σε κάποιο σημείο του αγωγού μεταφοράς του προϊόντος υπάρχει μία ευμετακίνητη μεμβράνη. Καθώς περνούν τα συλλεγόμενα προϊόντα η μεμβράνη μετακινείται και ανάλογα την πίεση που δέχεται υπολογίζεται η μάζα του προϊόντος. Δ) Με ακτίνες γ (γάμμα). Σε αυτήν την περίπτωση τα προϊόντα ακτινοβολούνται με υψηλής ενέργειας ακτίνες και η ανάκλασή τους υποδηλώνει την επιφάνειά του προϊόντος.

Ανιχνευτές θέσης. Αποτελούν συστήματα προσδιορισμού θέσης (GPS) και αναβαθμίσεις τους. Έχουν να κάνουν με την καταγραφή πληροφοριών για διάφορες ανωμαλίες στην επιφάνεια του εδάφους όπως υψομετρικές διαφορές ή κλίσεις, έως περιοχές με χαλαρό υπέδαφος, ενδήμηση ασθενειών και γενικότερα περιοχών που επιδέχονται διορθωτικές ενέργειες. Οι πληροφορίες καταγράφεται με το χέρι εκτός εάν το σύστημα GPS είναι συνδεδεμένο με αισθητήρες, οπότε οι πληροφορίες αποθηκεύονται ταυτόχρονα με το στίγμα θέσης στην κάρτα μνήμης του ανιχνευτή. Πλέον τέτοια συστήματα είναι εξαιρετικά φθηνά και έχουν μεγέθη υπολογιστών παλάμης, αν και σε αυτήν την περίπτωση δεν προσφέρουν ικανοποιητική ακρίβεια. Για να φτάσουμε σε μετρήσεις θέσεις με σφάλμα κάτω του εκατοστού, χρειάζονται επίγειοι σταθμοί και μηχανήματα ακριβείας που ακόμη στοιχίζουν ακριβά. Βέβαια πολυπληθείς ομάδες παραγωγών θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν τον ίδιο εξοπλισμό ώστε το κόστος να μειωθεί κατακόρυφα.

Αισθητήρες εδαφικών ιδιοτήτων. Μετά από έρευνες έχει βρεθεί ότι η ανακλαστικότητα του εδάφους σε συγκεκριμένες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μπορούν να δώσουν αξιόπιστες πληροφορίες όπως η υδατική κατάσταση του εδάφους ή το ποσοστό οργανικής ουσίας (Shibusawa et al., 2000). Για παράδειγμα έχουν κατασκευαστεί ανιχνευτές ηλεκτρικής αγωγιμότητας τεσσάρων ηλεκτροδίων ικανοί να δώσουν πληροφορίες για εδαφολογικούς παράγοντες όπως θρεπτικά στοιχεία ή υδατοϊκανότητα (Lund et al., 2000). Επίσης με τον συνδυασμό μίας ακίδας μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ενός διεισδυσόμετρου μπορούμε να χαρτογραφήσουμε το υπέδαφος στο βάθος της διείσδυσης (Drummond et al., 2000). Πολλές έρευνες έχουν γίνει επάνω στους ανιχνευτές εδάφους προκειμένου να μπορούμε να σαρώσουμε ολόκληρα αγροτεμάχια και να χαρτογραφήσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα, την ύπαρξη αδιαπέραστης στρώσης, τη μηχανική σύστασης και άλλα χαρακτηριστικά. Για να εξαλειφθεί η πιθανότητα σφάλματος, κλασσικές εδαφοαναλύσεις θα πρέπει να γίνονται σε σταθερή βάση και τα αποτελέσματα να

συγκρίνονται με αυτά των αισθητήρων, καθώς λόγω της πολυπλοκότητας του εδαφοδιαλύματος θα πρέπει κατά καιρούς να ταυτοποιούμε και να διορθώνουμε τις μετρήσεις των αισθητήρων.

Ανιχνευτές καλλιέργειας. Ίσως ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα της γεωργίας ακριβείας είναι η ανίχνευση της κατάστασης των ίδιων των φυτών από πλευράς φυσιολογίας και ανατομίας. Για αυτόν τον σκοπό, έχουν αναπτυχθεί μηχανικοί και οπτικοί ανιχνευτές κάθε είδους προκειμένου να μας επιτρέπεται η πρόσβαση σε αυτήν την πληροφορία. Στην περίπτωση της φυτικής παραγωγής, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην μέτρηση μέσων όρων και όχι ατομικών φυτών, καθώς σε κάθε στρέμμα εδάφους αναπτύσσονται τουλάχιστον σε εκατοντάδες. Ακριβώς για αυτόν τον λόγο η τηλεπισκόπηση, η μαζική σάρωση ή οι μετρήσεις ροής βρήκαν εφαρμογή σε αυτό το είδος των αισθητήρων με αποτέλεσμα να έχουμε μία πληθώρα συσκευών βασισμένες στην μέτρηση της ανάκλασης διαφόρων περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος έως μηχανικά δάκτυλα που μετρούν το ύψος ή απλά αισθάνονται την ύπαρξη των ζιζανίων. Η πλειοψηφία των εργασιών έχουν να κάνουν με ανιχνευτές φάσματος, όπως πολυφασματικοί αισθητήρες που προσδιορίζουν την υδατική κατάσταση των φυτών, την καταπόνηση από τροφопενίες ή άλατα, ακόμα και την προσβολή από ασθένειες της κόμης (Anon et al. 2000). Οι Evans et al., (2000) τοποθέτησαν θερμόμετρα υπερύθρου επάνω σε περιστροφικά αρδευτικά συστήματα (irrigation pivot) για την μέτρηση της θερμοκρασίας της κόμης ώστε να προσαρμόζεται το αρδευτικό σύστημα στις πραγματικές ανάγκες των φυτών, ενώ οι Ahmad et al. (1999) εργαστήκαν με μετρητές χλωροφύλλης και υψηλής ακρίβειας GPS (DGPS) για τον προσδιορισμό τροφопενιών αζώτου σε αραβόσιτο.

Ανιχνευτές εχθρών και ασθενειών. Παράλληλα με τους προηγούμενους αισθητήρες και στα πλαίσια της ορθολογικής χρήσης αγροχημικών κατασκευάστηκαν ειδικοί ανιχνευτές ζιζανίων, εντόμων και ασθενειών προκειμένου να αποφευχθούν οι καθολικοί ψεκασμοί που εφαρμόζονται παγκοσμίως. Για την διαπίστωση των ζιζανίων η έρευνα στηρίχτηκε στην διαφορετικότητά τους με την καλλιέργεια, όσων αφορά το χρώμα και την ανατομία τους. Οι Feyaerts et al. (1998) χρησιμοποίησαν φασματικές φωτογραφικές μηχανές, ενώ οι Wang et al. (2001) ανέπτυξαν οπτικούς ανιχνευτές βασισμένους στην φασματική απεικόνιση των ζιζανίων, της καλλιέργειας και του εδάφους. Ακόμα οι Michels et al. (2000) δημιούργησαν ανιχνευτές θερμοκρασίας με υπέρυθρη ακτινοβολία για να μετρήσουν τη διαφορά θερμοκρασίας των προσβεβλημένων φυτών σιταριού από κολεόπτερα. Τέλος, μέρος της παρούσας

εργασίας ήταν η μέτρηση της βιομάζας με εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία και η προσαρμογή της δόσης ρυθμιστών αύξησης σε φυτά βαμβακιού.

3.3.2 Συστήματα ελέγχου

Ο απώτερος σκοπός της γεωργίας ακριβείας είναι η μεταβαλλόμενη εφαρμογή εισροών με βάση τις ανάγκες κάθε περιοχής. Με τη χρήση αισθητήρων πλέον είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε αυτές τις απαιτήσεις, οπότε το επόμενο βήμα είναι να εφαρμόσουμε τεχνολογίες που να κάνουν χρήση αυτών των πληροφοριών. Κατά συνέπεια χρειαζόμαστε λογισμικό που να επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες, να μας επιτρέπει την οργάνωση και την επεξεργασία τους και μηχανήματα που να έχουν την δυνατότητα εφαρμογής εισροών σε μεταβαλλόμενες δόσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες κατηγορίες συσκευών χρήσιμες για αυτούς τους σκοπούς.

Μηχανήματα μεταβαλλόμενης δόσης αγροχημικών. Είναι πλέον διαθέσιμα στο εμπόριο διάφορης τεχνολογίας συστήματα προσαρμοσμένα σε ψεκαστικά μηχανήματα και λιπασματοδιανομείς, προκειμένου να αυξομειώνεται η δόση των υγρών προϊόντων και των λιπασμάτων. Υπάρχουν δύο τύποι μηχανημάτων, εκείνα που μεταφράζουν ένα χάρτη παραλλακτικότητας και αυτά που δέχονται απ' ευθείας πληροφορίες από τους αισθητήρες. Η πρώτη κατηγορία στηρίζεται στην χρήση GPS και απαιτεί προεπισκόπηση του αγρού, εκτίμηση της παραλλακτικότητας και σημείωση επί του χάρτη της κατάλληλης δόσης. Στη συνέχεια το μηχανήμα εφαρμογής θα επεξεργαστεί τον χάρτη και θα εφαρμόσει την κατάλληλη δόση. Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιεί μόνο την πληροφορία που συλλέγεται από τους αισθητήρες ως εξής. Στο μπροστινό μέρος του ελκυστήρα βρίσκονται οι αισθητήρες όπου συλλέγουν τις πληροφορίες και ενημερώνουν το σύστημα εφαρμογής που βρίσκεται στο πίσω μέρος. Αυτό είναι και το πρακτικότερο σύστημα, είναι γρήγορο, δεν απαιτεί προεπισκόπηση του αγρού και εξετάζει την παραλλακτικότητα σε επίπεδο φυτού, αλλά είναι ακριβότερο, απαιτεί περιπλοκότερα συστήματα και προς το παρόν δεν έχει μεγάλη ακρίβεια.

Συστήματα αυτόοδήγησης. Είναι συστήματα που εντοπίζουν την θέση οποιουδήποτε κινημένου οχήματος με σφάλμα λίγων εκατοστών χρησιμοποιώντας υψηλής ακρίβειας DGPS, έτσι ώστε να εξαλείφεται η ανάγκη οδηγού. Με αυτά τα συστήματα ο ελκυστήρας μπορεί να κινείται σε παράλληλες γραμμές ώστε η κατεργασία του εδάφους, η σπορά ή ο ψεκασμός να γίνονται χωρίς σφάλματα από

ατυχείς κινήσεις. Φυσικά δεν παύει να είναι απαραίτητος ένας χειριστής και για αυτόν τον λόγο δεν είναι βέβαιο ότι στο προσεχές μέλλον θα επέλθει πλήρης αυτοματοποίηση των εργασιών.

Ρομποτικά μηχανήματα συγκομιδής. Τα περισσότερα σύγχρονα μηχανήματα συγκομιδής φέρουν βοηθητικά ρομποτικά συστήματα. Η Ιαπωνία φαίνεται να είναι από τους πρωτοπόρους σε τέτοιες τεχνολογίες με κατασκευές πολυμηχανημάτων (Iida et al., 1998) για την διευκόλυνση της συλλογής. Ήδη στο εμπόριο κυκλοφορούν αυτόματοι συλλογείς για τομάτες, αγγούρια, φράουλες, πεπόνια, σταφύλια (Zhang et al, 2002), εσπεριδοειδή και ελιές. Όλα δείχνουν πως η σύγχρονη τάση επιδιώκει μία όσο το δυνατόν πληρέστερη εκμηχάνιση στη συλλογή καρπών.

Δικτυακά συστήματα επικοινωνίας. Συστήματα διανομής πληροφοριών μεταξύ ανιχνευτών, συστημάτων πλοήγησης και συστημάτων εφαρμογής έχουν δημιουργηθεί για την άμεση επικοινωνία και ακρίβεια στην εφαρμογή αγροχημικών. Οι Giles et al (1999) παρουσίασαν τέτοιες εφαρμογές για την αυξομείωση της δόσης ψεκαστικού υγρού και του μεγέθους της σταγόνας.

3.3.3 Τηλεπισκόπηση

Η ανίχνευση μίας περιοχής από συσκευές όπως αεροπλάνα, δορυφόροι ή οποιοδήποτε άλλη συσκευή που δεν έρχεται σε επαφή με το υπό εξέταση αντικείμενο ονομάζεται τηλεπισκόπηση. Για την αποτύπωση εικόνας χρησιμοποιούνται διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, καθώς η ακτινοβολία απορροφάται, διαπερνά ή ανακλάται ανάλογα τις ιδιότητες της επιφάνειας πάνω στην οποία πέφτει. Έτσι, μετρώντας την ανακλώμενη ακτινοβολία, πληροφορούμαστε για την κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή.

Κάποια από τα μειονεκτήματα της απόκτησης τέτοιων εικόνων είναι το υψηλό κόστος, το ότι πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμες στον επιθυμητό χρόνο, σε κάποιες περιπτώσεις παρεμποδίζονται από νέφη (ανάλογα την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που χρησιμοποιήθηκε), δεν έχουν αρκετά υψηλή ανάλυση ή είναι αδύνατη η περεταίρω επεξεργασία επί της εικόνας. Παρ' όλα αυτά, έχουν δημιουργηθεί εταιρίες που προσφέρουν τέτοιες υπηρεσίες με πτήσεις μικρών αεροσκαφών όπως η InTime στο Γκρινβιλ (Greenville) του Μισισιπή των Η.Π.Α. με πολύ καλά αποτελέσματα από πλευράς ανάλυσης και επεξεργασίας, ενώ ισχυρίζονται ότι το κόστος υπερκαλύπτεται από την μείωση των εισροών. Ακόμα, οποιοσδήποτε

μπορεί να αγοράσει μέσω διαδικτύου δορυφορικές εικόνες από εταιρίες διαστημικών εφαρμογών, μα με τα παραπάνω μειονεκτήματα. Σε περιπτώσεις κάλυψης μεγάλων εκτάσεων μπορεί να αποτελέσουν λύση αν και φαίνεται να είναι περισσότερο χρήσιμες σε ερευνητικούς σκοπούς.

3.4 Διαχείριση δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση κάθε δειγματοληψίας έχουμε στα χέρια μας μία πληθώρα δεδομένων που τις περισσότερες φορές αδυνατούμε να μεταφράσουμε σε πραγματική πληροφορία. Αν σκεφτεί κανείς το μέγεθος των δεδομένων στο τέλος κάθε καλλιεργητικής περιόδου, οδηγείται εύκολα στο συμπέρασμα γιατί έχουν δημιουργηθεί ειδικά προγράμματα που ομαδοποιούν και οργανώνουν τα δεδομένα σε μορφή κατανοητή στον χρήστη και με την δυνατότητα της περεταίρω επεξεργασίας. Τέτοια συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) όπως τα ARCVIEW, IDRISI και SURFER περιέχουν πολλές δυνατότητες, ίσως πολύ περισσότερες από αυτές που θα ήταν χρήσιμες στην γεωργία ακριβείας. Κάτι τέτοιο δυσχεραίνει την χρήση τους καθώς τα περισσότερα έχουν σχεδιαστεί για γεωδαιτικές εφαρμογές και δεν είναι προσανατολισμένα στην γεωργία, στοιχίζουν ακριβά, απαιτείται ηλεκτρονικός υπολογιστής και έστω η ελάχιστη εξοικείωση με τη χρήση του, καθώς και περεταίρω γνώσεις στη χρήση τέτοιων προγραμμάτων. Για τους παραπάνω λόγους δεν συνηθίζεται η χρήση τους από παραγωγούς και συνήθως αφήνεται η επεξεργασία των πληροφοριών σε τρίτους, εκτός της περίπτωσης των νέων αγροτών που έχουν σαφώς μεγαλύτερη έφεση και επιθυμία να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε πρόγραμμα θα τους βοηθήσει να εξάγουν ασφαλή συμπεράσματα. Ταυτόχρονα, για την χρήση τους επί τόπου στον αγρό, πολλές εταιρίες GIS έχουν αναπτύξει συστήματα ειδικά για την γεωργική πραγματικότητα όπως οι AGRIS Corporation, Farm WorksTM, Agri-Logic, Inc., John Deere Precision Farming Group, Case Corporation, Rockwell International και RDI Technologies Inc. (Ess et al., 1997)

Τέλος, με τη συνεχόμενη αύξηση των τεχνολογιών που χρησιμοποιεί η γεωργία ακριβείας και λόγω των διαφορετικών οίκων κατασκευής, έχουν γίνει μεγάλες προσπάθειες να δημιουργηθεί μία κοινή πλατφόρμα ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα συμβατότητας. Για αυτόν τον λόγο έχει δημιουργηθεί το ISO 11783 ως πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ επίγειων και φορητών συσκευών, ανιχνευτών και GIS προγραμμάτων (Stafford, 2000).

3.5 Διεθνείς τάσεις

Αν και η επιστημονικές έρευνες στις εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας ξεκίνησαν από τα μέσα του 1980 σε χώρες όπως ο Καναδάς, οι Η.Π.Α., η Αυστραλία και η Ενωμένη Ευρώπη (κυρίως στο βορρά), οι χρήστες της παραμένουν ένα μικρό ποσοστό του παραγωγικού συνόλου (Zhang et al, 2002). Ακόμα και σε προηγμένες τεχνολογικά χώρες, όπως η Ιαπωνία, παρουσιάζονται ανασταλτικοί παράγοντες στην εξάπλωση της γεωργίας ακριβείας με σημαντικότερους τον μικρό και πολυτεμαχισμένο κλήρο ή την πολυκαλλιέργεια. Αντίθετα στην Αυστραλία όπου το μέγεθος είναι σαφώς μεγαλύτερο και τεράστιες εκτάσεις καλύπτονται από λίγες καλλιέργειες, αντιμετωπίζουν διαφορετικής φύσης προβλήματα. Έχουν να κάνουν κυρίως με το κόστος των νέων τεχνολογιών και την έλλειψη ειδικευμένων συμβούλων γεωπόνων. Μπροστά σε μία μεγάλης κλίμακας επένδυση, είναι λογικό οι παραγωγοί να επιθυμούν τεχνολογικά καταρτισμένους συνεργάτες και γεωπόνους ικανούς να συνδυάζουν τα νέα δεδομένα με παραγωγικότερες εφαρμογές. Είναι βέβαιο ότι η γεωργία ακριβείας μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε κλίμακας γεωργική εκμετάλλευση αλλά με την προϋπόθεση κάποιας αναδιοργάνωσης.

Σε αυτά τα πλαίσια κινούνται διάφορα ερευνητικά κέντρα, ένα από οποία στην Γερμανία προσπαθεί να αναπτύξει ασύρματα δίκτυα ώστε όλοι οι εμπλεκόμενοι με την παραγωγή να μπορέσουν να έχουν στην διάθεσή τους τα απαραίτητα στοιχεία. Από τον παραγωγό την στιγμή την καλλιέργειας έως την εταιρία διανομής, έτσι ώστε να οργανωθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής για καθετοποιημένες γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Οργανώνοντας κάτι τέτοιο σε επίπεδο περιοχής, όλο και περισσότεροι αγρότες, συσκευαστές ή διανομείς θα θέλουν να συμμετέχουν ώστε να επωφεληθούν από τις μεθόδους της γεωργίας ακριβείας (Lutticken, 2000).

Από τον αριθμό των δημοσιευμάτων και το πλήθος των διαφορετικών χωρών από όπου προέρχονται, συμπεραίνουμε ότι υπάρχει τάση εξάπλωσης, ακόμα και αν πρόκειται απλά για χρήση του υπάρχοντος εξοπλισμού αναβαθμισμένου με διάφορους αισθητήρες και συσκευές GPS. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, δεν θα μπορούσαν να γίνουν αλματώδη βήματα παρά μικρές εφαρμογές μέσα από υγιή παραγωγικά μοντέλα που τελικά θα οδηγούσαν στην ολική μετατροπή του τρόπου παραγωγής.

4. Χρήση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας στο βαμβάκι

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφεί το πρώτο σκέλος των πειραμάτων όπου έλαβε χώρα σε τρεις παραγωγικές καλλιέργειες βαμβακιού στην Γεωργία των Η.Π.Α.. Ο τίτλος της δημοσιευμένης εργασίας είναι (Vellidis et al, 2009):

Χρήση του αισθητήρα GreenSeeker® για την εφαρμογή μεταβαλλόμενης δόσης ρυθμιστών αύξησης και αποφυλλωτικών στο βαμβάκι.

4.1 Εισαγωγή

Το πείραμα έγινε για να δοκιμασθεί η αποτελεσματικότητα του αισθητήρα GreenSeeker® RT200 (NTech Industries, Ukiah, Καλιφόρνια, Η.Π.Α.) στην καθοδήγηση μίας μεταβαλλόμενης αγωγής ρυθμιστών αύξησης και αποφυλλωτικών στην καλλιέργεια του βαμβακιού. Τα πειράματα έγιναν σε τρεις διαφορετικούς αγρούς στην περιοχή του Τίφτον (Νότια Γεωργία, Η.Π.Α.) κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2008. Εκ των αποτελεσμάτων συμπεραίνουμε πως ο ανιχνευτής GreenSeeker® RT200 αποτελεί ασφαλές εργαλείο για των διαχωρισμό περιοχών διαχείρισης όταν η καλλιέργεια βρίσκεται σε πρώιμο και όψιμο στάδιο ανάπτυξης. Κατά την διάρκεια του θέρους, που το βαμβάκι βρίσκεται σε πλήρη ανάπτυξη και ολόκληρος ο αγρός καλύπτεται από την πυκνή πράσινη κόμη του, ο ανιχνευτής δεν προσφέρει πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα. Αντίθετα, κατά την εποχή της εφαρμογής των αποφυλλωτικών, ο αισθητήρας αποδίδει ικανοποιητικότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μεταβαλλόμενη δόση των ορμονών ωρίμανσης με όμοια αν όχι με καλλίτερα αποτελέσματα από αυτά που μετρηθήκαν στον μάρτυρα (ομοιόμορφη δόση).

Όπως στην κεντρική Ελλάδα έτσι και στις νότιες Η.Π.Α. το βαμβάκι αποτελεί μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες. Η ορθολογική διαχείριση νερού και αζώτου είναι κριτική όχι μόνο από πλευράς μείωσης κόστους αλλά και επειδή προκαλούν δυσανάλογη αύξηση σε σχέση με την ωρίμανση, οψιμίζοντας την συλλογή. Καθώς ο θεσσαλικός κάμπος και γενικότερα η Ελλάδα βρίσκεται στα όρια των περιοχών καλλιέργειας του βαμβακιού, μία ανεπιθύμητη οψίμιση μπορεί να σημαίνει τρομερές απώλειες παραγωγής έως και αδυναμία συλλογής σε ακραίες περιπτώσεις. Αντιλαμβανόμαστε πως ο έλεγχος είναι πολλές φορές δύσκολος και σε πραγματικές

συνθήκες χρειάζονται διορθωτικές ενέργειες, όπως η χρήση ρυθμιστών αύξησης. Το πιο διαδεδομένο σκεύασμα είναι το meriquat chloride 5% που πωλείται με διαφορετικά εμπορικά ονόματα όπως PIX®, Cotton FIX® ή MEPIQUAT CHLORIDE®. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το πρώτο σκεύασμα.

Η έως τώρα συνηθέστερη πρακτική για να εκτιμάται το ύψος το φυτών και η συνολική βιομάζα τους είναι με επίσκεψη στον αγρό και χωρίς όργανα μέτρησης. Στη συνέχεια αποφασίζεται εμπειρικά η δόση του meriquat chloride, ομοιόμορφα κατανεμημένη σε ολόκληρο τον αγρό. Η κοινή λογική αλλά και επιστημονικά πειράματα (Vellidis et al., 2004) υποδεικνύουν την μεγάλη παραλλακτικότητα στην παραγωγή βιομάζας μέσα στον αγρό είτε λόγω καλλιεργητικών μεθόδων, είτε θρεπτικής σύστασης του εδάφους ή άλλων πολυάριθμων λόγων. Ο συνδυασμός των παραπάνω προκαλούν υποψίες για το πόσο γίνεται ορθολογική χρήση των ρυθμιστών αύξησης και ταυτόχρονα υπογραμμίζουν την ανάγκη εξεύρεσης λύσης. Σε παράλληλες γραμμές κινείται και η χρήση αποφυλλωτικών στο τέλος της καλλιέργειας. Οπωσδήποτε όλα τα φυτά δεν βρίσκονται στο ίδιο στάδιο ωρίμανσης ενώ η αποφυλλωση συμβαίνει σε διαφορετικό βαθμό. Η καθολική χρήση αποφυλλωτικών ουσιών με σταθερή δόση οδηγεί είτε σε μεγαλύτερη, είτε σε μικρότερη της απαιτούμενης δόσης σε τμήματα του αγρού με μεγαλύτερη ή μικρότερη βλάστηση με δυσμενείς οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Οι συνήθεις ουσίες που χρησιμοποιούνται για την αποφύλλωση αποτελούν ορμόνες συνδεδεμένες με την γήρανση όπως οι Thidiazuron (*N*-phenyl-*N'*-1,2,3-thiadiazol-5-ylurea) , Tribufos (*S,S,S*-tributyl phosphorotrithioate) και Ethephon [(2-chloroethyl)phosphonic acid]. Οι δύο πρώτες προκαλούν πτώση των φύλλων ενώ η τρίτη εξαναγκάζει την διάρρηξη της κάψας και την αποκάλυψη του ανώριμου αλλά ικανού για συλλογή, βάμβακος. Αυτές οι ουσίες χρησιμοποιήθηκαν και στον παρόν πείραμα.

Για την χρήση μεταβαλλόμενης δόσης υπάρχουν διάφορες τεχνικές. Στην παρούσα έρευνα έγινε χρήση τηλεπισκόπησης με διάφορες συσκευές προκειμένου να δημιουργηθούν χάρτες βιομάζας. Το πειραματικό σχέδιο περιελάμβανε τα εξής βήματα:

A) Τηλεπισκόπηση με τον αισθητήρα GreenSeeker® RT200. Για την συλλογή δεδομένων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε άλλη μέθοδος όπως πολυφασματικές αεροφωτογραφίες, εικόνες δορυφόρων ή άλλες επίγειες συσκευές τηλεπισκόπησης.

Β) Δημιουργία χαρτών βιομάζας βάση του δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ο αισθητήρας GreenSeeker® δίδει τα αποτελέσματα απ' ευθείας σε τιμές NDVI.

Γ) Διαχωρισμός του χάρτη σε υποπεριοχές κοινής ποσότητας βιομάζας με την χρήση ειδικού λογισμικού και με βάση τα ευρήματα του GreenSeeker® RT200.

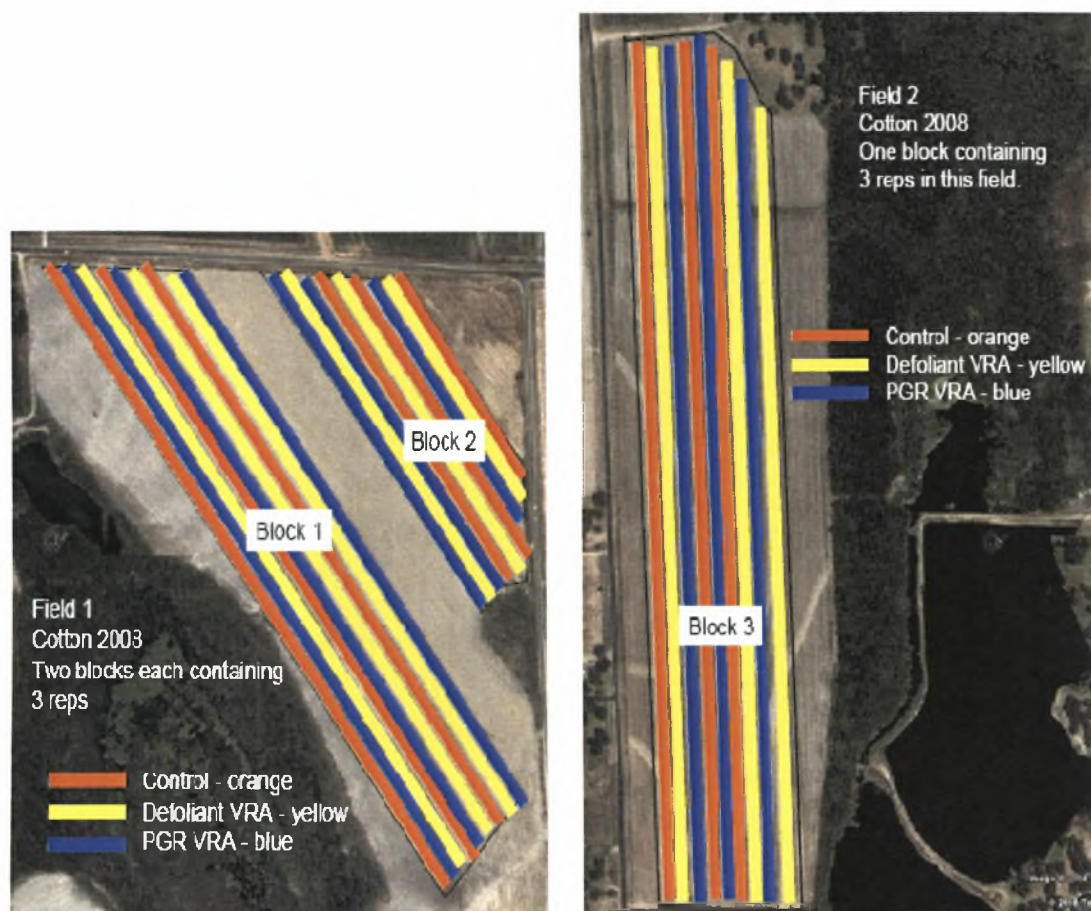
Δ) Επαλήθευση του χάρτη με δειγματοληψία στους πειραματικούς αγρούς και μετρήσεις βιομάζας στο εργαστήριο.

Ε) Δημιουργία κατάλληλων δόσεων για κάθε υποπεριοχή (ζώνη), βασισμένων στην βιβλιογραφία, σε εκπαιδευμένο επιστημονικό προσωπικό του πανεπιστημίου (extension service experts), σε σύμβουλους γεωπόνους ή από τον ίδιο τον παραγωγό.

ΣΤ) Εφαρμογή του χάρτη με την χρήση ψεκαστικού μηχανήματος με ρυθμιστή μεταβαλλόμενης δόσης.

4.2 Υλικά και μέθοδοι

Για να επιτευχθεί ο σκοπός μας σχεδιάστηκαν 3 ραβδοειδή πειραματικά τεμάχια, που διέτρεχαν όλο το μήκος της καλλιεργητικής γραμμής, κατά μήκος του αγρού, ώστε να ακολουθούν τις γραμμές φύτευσης (σχήμα 1). Τα πειραματικά τεμάχια βρίσκονταν σε 3 αγρούς 2 διαφορετικών παραγωγών. Το κάθε τεμάχιο χωρίστηκε σε 3 επαναλήψεις των 3 τμημάτων, δηλαδή συνολικά υπήρξαν 9 πειραματικές γραμμές. Η κάθε επανάληψη κάλυπτε 18 σειρές βάμβακος, οπότε κάθε πειραματικό τεμάχιο με όλες του τις επαναλήψεις κάλυπτε 54 γραμμές καλλιέργειας. Από την κάθε τριάδα είχαν τυχαία διανεμηθεί τα πειραματικά σχέδια, έτσι ώστε σε ένα εφαρμόστηκε μία σταθερή και ομοιόμορφη δόση (κατά επιταγή του παραγωγού) και αποτελούσε τον μάρτυρα, στο δεύτερο μεταβάλλονταν η δόση του ρυθμιστή αύξησης (PIX) και στο τρίτο μεταβάλλονταν η δόση του αποφυλλωτικού. Η φύτευση των αγρών έγινε στις αρχές Μαΐου του 2008 με την ποικιλία Roundup-Ready® DP 555. Το πρώτο τεμάχιο είχε έκταση 11.6 εκτάρια, το δεύτερο 6.8 εκτάρια και το τρίτο 14.2 εκτάρια (σχήμα 1).



Σχήμα 1. Οι τρεις πειραματικοί αγροί με τις μεταχειρίσεις.

Για την σάρωση των αγρών χρησιμοποιήθηκε ένα αυτοκινούμενο ψεκαστικό μηχάνημα John Deere 6700 επάνω στο οποίο τοποθετήθηκαν 6 ανιχνευτές GreenSeeker® RT200 που επικοινωνούσαν με ένα υπολογιστή παλάμης (PDA), για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε ειδικό λογισμικό (Σχήμα 2). Το σύστημα ήταν εξοπλισμένο με ένα DGPS ώστε οι καταγραφές να συνοδεύονται από γεωγραφικές συντεταγμένες. Κάθε αισθητήρας ανίχνευε 3 σειρές εκ των οποίων η μεσαία ανιχνεύονταν άμεσα καθώς ήταν κάτω από το κέντρο του αισθητήρα. Έτσι, σε σύνολο 18 σειρών οι 6 ανιχνεύονταν από κατακόρυφη έκθεση. Παρ' όλο που το λογισμικό συγκέντρωνε 6 τιμές, δηλαδή όσοι και οι αισθητήρες, κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τιμών. Για την εφαρμογή των μεταβαλλόμενων δόσεων εγκαταστάθηκε η συσκευή Mid-Tech Legacy 6000 ώστε καθώς το ψεκαστικό κινούνταν στο χωράφι να ήταν δυνατή η αυξομείωση της δόσης των ρυθμιστών αύξησης και του αποφυλλωτικού, βάση του χάρτη βιομάζας.



Σχήμα 2. Άποψη των ανιχνευτών GreenSeeker® RT200 τοποθετημένοι επάνω στο ψεκαστικό μηχάνημα

4.2.1 Δείκτες βλάστησης

Μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδος για την μέτρηση της βιομάζας είναι η χρήση δεικτών βλάστησης (vegetation indices) που αποτελούν απλά μαθηματικά μοντέλα της μετρούμενης ανάκλασης του φωτός. Προκειμένου να μετρήσουμε την βιομάζα της καλλιέργειας έγινε χρήση του δείκτη NDVI με τον οποίο υπολογίζεται το ποσοστό της χλωροφύλλης στα φύλλα. Αν και έχουν δημιουργηθεί πάρα πολλοί δείκτες για την άμεση μέτρηση της χλωροφύλλης, ο NDVI φαίνεται να χρησιμοποιείται στις περισσότερες έρευνες, καθώς έχει αποδείξει ότι παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση χλωροφύλλης και βιομάζας, σε σημείο που πολλοί επαγγελματίες παραγωγοί τον αναφέρουν ως δείκτης βιομάζας. Ο μαθηματικός τύπος του είναι

$$\frac{\text{Εγγύς υπέρυθρο} - \text{ερυθρό}}{\text{Εγγύς υπέρυθρο} + \text{ερυθρό}} \quad (\text{Nilsson, 1995}).$$

Ο ανιχνευτής GreenSeeker® RT200 υπολογίζει αυτόματα τον δείκτη NDVI και προσδίδει ένα αρχείο χωρίς περεταίρω δεδομένα εγγύς υπέρυθρου και ερυθρού φωτός.

4.2.2 Αισθητήρες εγγύς υπέρυθρου φωτός

Για την εφαρμογή του δείκτη, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας GreenSeeker® RT200. Συσκευές σαν και αυτή εκπέμπουν φως από ένα ειδικό λαμπτήρα στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου και ερυθρού προς ένα στόχο που στη γεωργική πράξη είναι η φυτική κόμη ή το γυμνό έδαφος. Οι ακτίνες απορροφούνται, διαπερνούνται ή ανακλούνται από την κόμη και το έδαφος. Στην τελευταία περίπτωση, στον αισθητήρα επιστέφει ένα ποσό ερυθρής και εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας που μετράται και στην συνέχεια υπολογίζεται το NDVI. Καθώς ο αισθητήρας εκπέμπει το δικό του φως, δεν επηρεάζεται από τυχόν ατμοσφαιρικές ανακατατάξεις όπως παροδική συννεφιά ή έντονη ηλιοφάνεια. Για την καλλίτερη λειτουργία του, η απόσταση από την κόμη θα πρέπει να είναι στα 0.8 έως 1.2 μέτρα. Σε αυτήν την απόσταση θα είναι ικανός να σαρώνει μία έκταση ίση με 0.6 μέτρα. Με αυτόν τον τρόπο, όταν τα φυτά είναι μικρά ανιχνεύεται η κόμη τους μαζί με το παρακείμενο έδαφος δίνοντας μικρά ποσοστά βιομάζας. Αντίθετα, καθώς τα φυτά μεγαλώνουν και η κόμη καλύπτει το πεδίο, ο αισθητήρας ανιχνεύει μόνο την κόμη, αποδίδοντας μεγαλύτερα ποσό βιομάζας.

4.2.3 Μέτρηση βιομάζας

Η σάρωση του χωραφιού για την συλλογή δεδομένων βιομάζας ξεκίνησε την τελευταία εβδομάδα του Ιουλίου και συνεχίστηκε τηρώντας εβδομαδιαία περίοδο. Τα δεδομένα επεξεργάζονταν με το πρόγραμμα MZA (Management Zone Analyst, Fridgen et al., 2004) που έχει τη δυνατότητα να διαχωρίζει τα δεδομένα σε ομάδες μικρής παραλλακτικότητας και κατ' επέκταση τον αγρό σε ζώνες - υποπεριοχές που δέχονταν όμοια διαχείριση. Το πρόγραμμα MZA διατίθεται δωρεάν και έχει κατασκευασθεί από το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α..

Με την δημιουργία των πρώτων χαρτών NDVI ο αγρός χωρίστηκε σε υποπεριοχές χαμηλής, μέσης και υψηλής βιομάζας. Στη συνέχεια χαράχτηκαν 20 έως 25 περιοχές δειγματοληψίας διεσπαρμένοι μέσα στις 3 περιοχές βιομάζας, προκειμένου να εξακριβωθεί η ποιότητα των μετρήσεων των αισθητήρων. Με αυτόν τον τρόπο υπήρξαν δεδομένα βιομάζας και από τις τρεις περιοχές NDVI, οπότε μετά από κάθε σάρωση με τους αισθητήρες τα αποτελέσματα συγκρίνονταν με τη βιομάζα των περιοχών δειγματοληψίας. Κάθε περιοχή αντιπροσώπευε δύο επιφάνειες 10 μέτρων μήκος και 3 σειρών πλάτος. Έτσι σαρώνονταν ένα τεμάχιο 6 σειρών. Το κέντρο

κάθε περιοχής βρίσκονταν και ορίζονταν με ένα DGPS και από την γύρω περιοχή επιλέγονταν 3 φυτά, μετρούνταν το ύψος τους και στη συνέχεια κόβονταν στο ύψος του εδάφους, ενσακίζονταν και μεταφέρονταν στο εργαστήριο. Εκεί αφαιρούνταν τα φύλλα, τα άνθη ή οι καρποί και τα στελέχη, τοποθετούνταν σε χάρτινες σακούλες και ξηραίνονταν στους 70° C για 48 ώρες. Αργότερα, ζυγίζονταν προκειμένου να εξακριβωθεί το ποσοστό της ξηρής βιομάζας. Οι δειγματοληψίες γίνονταν αρχικά κάθε μήνα, ενώ καθώς τα φυτά προχωρούσαν προς την ωρίμανση πύκνωσαν σε σχεδόν εβδομαδιαία βάση.

4.2.4 Δημιουργία χαρτών βιομάζας και εφαρμογή μεταβαλλόμενης δόσης

Με τη χρήση του προγράμματος MZA και την δημιουργία ζωνών στον αγρό, σχεδιάστηκαν χάρτες μεταβαλλόμενης δόσης για την εφαρμογή των ρυθμιστών αύξησης και αργότερα των αποφυλλωτικών. Για αυτόν τον σκοπό, χρησιμοποιήθηκε ένα GIS πρόγραμμα το ArcGIS® (ESRI, Redlands, California). Για την απόφαση της δόσης σε κάθε περιοχή, αποφάνθηκαν ειδικοί επιστήμονες σύμβουλοι (extension specialist) του πανεπιστημίου της Γεωργίας, μετά από επιτόπου παρατήρηση στον αγρό. Ταυτόχρονα οι παραγωγοί βάση εμπειρίας αποφάσισαν ποια θα ήταν η δόση στον μάρτυρα.

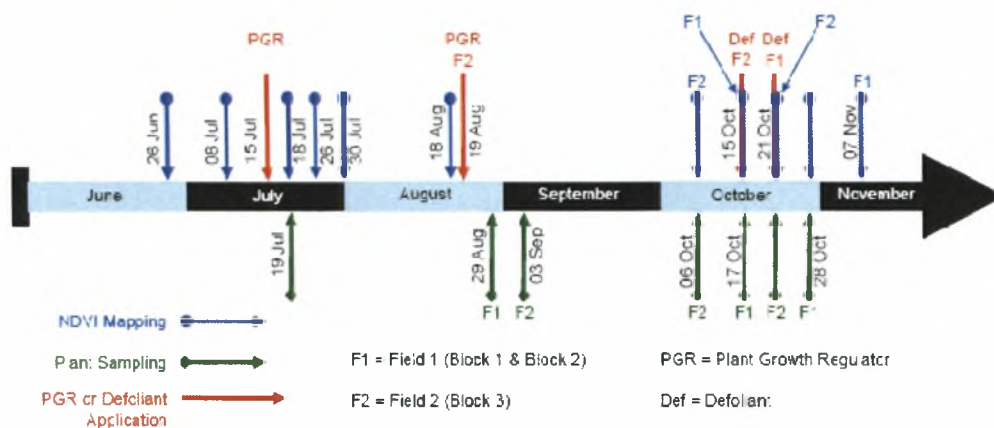
Έγιναν συνολικά δύο εφαρμογές με ρυθμιστές αύξησης. Η πρώτη έγινε στα μέσα Ιουλίου όπου λόγω μικρής παραλλακτικότητας διαμορφώθηκαν 3 δόσεις. Η σταθερή του μάρτυρα, μία για τις περιοχές υψηλής βιομάζας και μία τρίτη για περιοχές μέτριας βιομάζας (η μικρή και η μέτρια συγχωνεύτηκαν). Η δεύτερη εφαρμογή έγινε στις 19 Αυγούστου κανονικά με 4 δόσεις, αλλά μόνο στον αγρό 3, καθώς οι εφαρμογές στον αγρό 1 και 2 αναβλήθηκαν και τελικά ακυρώθηκαν λόγω των πυκνών βροχοπτώσεων που προξένησε ο τυφώνας Fey στις 21 έως 23 Αυγούστου. Λόγω των ακραίων φαινομένων, τα φυτά λύγισαν, κλείνοντας τους διαδρόμους που είχαν δημιουργηθεί από τις προηγούμενες εφαρμογές. Μετά από αυτό, οι παραγωγοί δεν επέτρεψαν το πέρασμα του μηχανήματος μέσα από τον αγρό για τον φόβο ότι θα καταστραφούν τα ήδη επιβαρυμένα φυτά. Έτσι, δεν δημιουργήθηκαν άλλοι NDVI χάρτες έως τα μέσα Οκτωβρίου που άρχισε η φυσιολογική πτώση των φύλλων. Για ακόμα μία φορά, οι καλλιεργητές δεν θέλησαν να επιτρέψουν την δίοδο του μηχανήματος και αποφάσισαν ο ψεκασμός αποφύλλωσης να γίνει με ειδικό αεροπλάνο. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν μετρήσεις NDVI, αποφασίστηκε να

παρθούν συνεχή δεδομένα βιομάζας με έναν απόλυτα όμοιο αισθητήρα GreenSeeker® RT200 απλά τοποθετημένο σε ράβδο και φερόμενο από τον συγγραφέα μέσα στα πειραματικά τεμάχια (Σχήμα 3). Ταυτόχρονα παίρνονταν δείγματα φυτών από τις περιοχές δειγματοληψίας για την ταυτοποίηση των αποτελεσμάτων. Στην εικόνα 4 φαίνονται όλες οι μεταχειρίσεις που έγιναν στα τρία πειραματικά τεμάχια.



Σχήμα 3. Μετά τις 23 Αυγούστου οι μετρήσεις NDVI έγιναν με φερόμενο ανιχνευτή GreenSeeker® RT200.

Οι δόσεις αποφύλλωσης ήταν 367, 260 και 210 mL/εκτάριο για τις περιοχές υψηλής, μέσης και χαμηλής βιομάζας αντίστοιχα. Η δόση που δέχτηκε ο μάρτυρας αποφασίστηκε από τους παραγωγούς και ήταν 355 mL/εκτάριο για τους αγρούς 1 και 2, ενώ 296 mL/εκτάριο για τον αγρό 3. Στον αγρό 3 η αποφύλλωση έγινε στις 15 Οκτωβρίου και η συλλογή στις 12 Νοεμβρίου, ενώ στους αγρούς 1 και 2 η αποφύλλωση έγινε στις 21 Οκτωβρίου και η συλλογή στις 8 Ιανουαρίου (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Ημερολόγιο εργασιών

4.3 Αποτελέσματα και συζήτηση

Η απόδοση των μηχανημάτων υπήρξε ικανοποιητική καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων, με μόνο μικρές δυσκολίες όπως η επικοινωνία μεταξύ του υπολογιστή παλάμης μέσα στην καμπίνα του ψεκαστικού, και του συστήματος DGPS με τους αισθητήρες. Χρειάστηκαν επαναλαμβανόμενες επανεκκινήσεις και επαναπρογραμματισμός του λογισμικού έως ότου εγκατασταθεί η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Κάτι τέτοιο φαίνεται να συμβαίνει συχνά με τους υπολογιστές παλάμης, αλλά μετά την αρχική εγκατάσταση δεν ξαναδημιουργήθηκε πρόβλημα καθ' όλη την διάρκεια της χρήσης.

4.3.1 Ο δείκτης βλάστησης NDVI

Στα τέλη Ιουνίου και τον Ιούλιο, καθώς και τον Οκτώβριο είχαμε μεγάλη παραλλακτικότητα στις τιμές NDVI, κάτι που υποδηλώνει υψηλές μαζί με χαμηλές τιμές βιομάζας, χλωροφύλλης ή συνδυασμό τους. Την αρχή του καλοκαιριού η μεγάλη διακύμανση ίσως οφείλονται σε ελλείψεις αζώτου, καθώς είναι μία περίοδος που τα φυτά απορροφούν πολλές μονάδες θρεπτικών για την ανάπτυξή τους και οι τροφοπενίες είναι σύνηθες φαινόμενο. Αντίθετα τον Οκτώβριο είναι αναμενόμενο τα ποσά της χλωροφύλλης να μειώνονται λόγω γήρατος των φύλλων καθώς τα φυτά μπαίνουν στο τελικό στάδιο της ωρίμανσης. Κατά τα μέσα της περιόδου, περίπου στις 18 Αυγούστου, ο δείκτης NDVI έδινε το 94% των τιμών πάνω από 0.8 και τις μισές από αυτές πάνω από 0.9 (Πίνακας 1). Διευκρινίζεται ότι οι τιμές που δίνει ο δείκτης κινούνται μεταξύ 0 και 1. Αυτά τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι το 90% των φυτών είχαν ίδια ποσότητα βιομάζας, ή περίπου ίδιο φαινότυπο κάτι εντελώς αδύνατο από πλευράς φυσιολογίας. Δηλαδή από την στιγμή που η καλλιέργεια καλύπτει το έδαφος με την κόμη, ο δείκτης

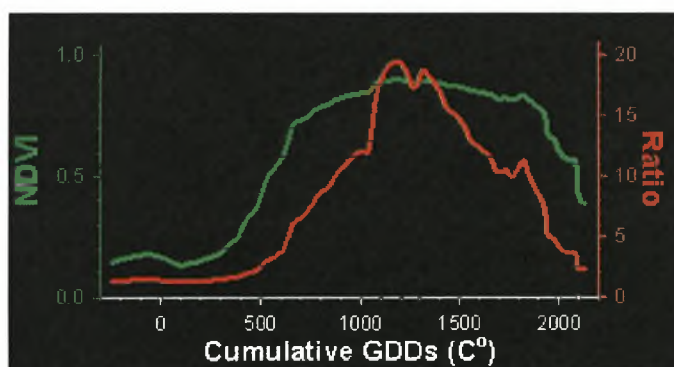
κοραίνεται και βλέποντας το πράσινο των φύλλων, δεν μπορεί να ξεχωρίσει την ανατομική διαφορά των φυτών και τα φανερώνει όλα με υψηλή βιομάζα (94% των τιμών πάνω από 0.8). Αντίθετα, η δειγματοληψία έδειξε ότι τα φυτά διαφέρουν σε μέγεθος και βιομάζα.

Πίνακας 1. Η διανομή των τιμών NDVI κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου

Table 1. Distribution of NDVI values during the growing season in Block 3 (Field 2).

17 July 2008		18 August 2008		06 October 2008	
NDVI	% of Data	NDVI	% of Data	NDVI	% of Data
0.50 – 0.65	26%	0.00 – 0.80	6%	0.50 – 0.65	30%
0.65 – 0.75	38%	0.80 – 0.90	45%	0.65 – 0.75	28%
0.75 – 0.90	33%	0.90 – 0.94	49%	0.75 – 0.90	33%

Σε δειγματοληψίες που έγιναν το ίδιο διάστημα, διαπιστώθηκαν διαφορές στη βιομάζα των φυτών, κυρίως λόγω ύψους. Ως αποτέλεσμα, την περίοδο που ο αγρός ήταν πλήρως καλυμμένος από πυκνή πράσινη κόμη δεν είχαμε πραγματικά αποτελέσματα παραλλακτικότητας της βιομάζας κάτι που οφείλεται στον κορεσμό του δείκτη (Σχήμα 5).



Σχήμα 5 Η πράσινη γραμμή φανερώνει τον κορεσμό του NDVI την εποχή που το έδαφος είναι πλήρως καλυμμένο από την καλλιέργεια. Αντίθετα ο δείκτης RVI μπορεί και δίνει αποτελέσματα.

Η στατιστική ανάλυση έδειξε θετική συσχέτιση μεταξύ ανατομικών μετρήσεων, βιομάζας και τιμών NDVI. Η σχέση μεταξύ τους έγινε λιγότερο ισχυρή κατά την διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας, ίσως εξαιτίας του κορεσμού του δείκτη NDVI, μα οι αρχικές και οι τελικές μετρήσεις δίδουν ισχυρότερα αποτελέσματα. Καθώς κατά την διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκαν ακραία περιβαλλοντικά φαινόμενα η αξιοπιστία των πειραμάτων μειώθηκε. Ακόμα και η χρήση του φορητού αισθητήρα GreenSeeker® RT200 υπήρξε μία λύση, αλλά με απρόβλεπτη επίδραση στα

αποτελέσματα. Στους Πίνακες 2,3,4 παρατίθενται τα στατιστικά αποτελέσματα των συσχετίσεων (correlations) μεταξύ βιομάζας, ύψους φυτών και NDVI.

Πίνακας 2. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων από το πρώτο πειραματικό τεμάχιο.

Coarsey A		17-Oct-08				
		<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)		1				
Leaf Mass (g)		0.284	1			
Stem Mass (g)		0.487	-0.008	1		
Fruit Mass (g)		0.255	0.129	0.761	1	
NDVI		0.431	0.210	0.390	0.072	1
Coarsey A		28-Oct-08				
		<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)		1				
Leaf Mass (g)		-0.042	1			
Stem Mass (g)		0.689	0.024	1		
Fruit Mass (g)		0.234	0.263	0.239	1	
NDVI		0.487	0.291	0.340	0.131	1

Πίνακας 3. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων από το δεύτερο πειραματικό τεμάχιο.

Coarsey B		19-Jul-08				
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>	
Plant Height (cm)	1					
Leaf Mass (g)	0.648	1				
Stem Mass (g)	0.904	0.722	1			
Fruit Mass (g)	0.070	0.083	0.010	1		
NDVI	-0.098	0.349	-0.006	0.128	1	
Coarsey B		29-Aug-08				
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>	
Plant Height (cm)	1					
Leaf Mass (g)	0.501	1				
Stem Mass (g)	0.616	0.790	1			
Fruit Mass (g)	0.459	0.617	0.707	1		
NDVI	0.316	0.276	0.432	-0.064	1	
Coarsey B		18-Oct-08				
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>	
Plant Height (cm)	1					
Leaf Mass (g)	0.762	1				
Stem Mass (g)	0.857	0.901	1			
Fruit Mass (g)	-0.132	0.242	0.273	1		
NDVI	0.773	0.652	0.701	-0.032	1	
Coarsey B		29-Oct-08				
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>	
Plant Height (cm)	1					
Leaf Mass (g)	0.326	1				
Stem Mass (g)	0.405	0.279	1			
Fruit Mass (g)	-0.515	0.138	0.128	1		
NDVI	0.786	0.054	0.347	-0.644	1	

Πίνακας 4. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων από το τρίτο πειραματικό τεμάχιο.

Pero	18-Jul-08				
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)	1				
Leaf Mass (g)	0.7943	1			
Stem Mass (g)	0.8476	0.943	1		
Fruit Mass (g)	0.5561	0.747	0.746	1	
NDVI	0.8742	0.625	0.718	0.503	1
Pero	3-Sep-08				
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)	1				
Leaf Mass (g)	0.576	1			
Stem Mass (g)	0.765	0.665	1		
Fruit Mass (g)	0.107	0.448	0.348	1	
NDVI	-0.182	-0.226	-0.400	0.226	1
Pero	6-Oct-08				
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)	1				
Leaf Mass (g)	0.773	1			
Stem Mass (g)	0.856	0.895	1		
Fruit Mass (g)	0.480	0.612	0.688	1	
NDVI	0.394	0.212	0.256	-0.160	1
Pero	21-Oct-08				
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)	1				
Leaf Mass (g)	-0.341	1			
Stem Mass (g)	0.706	-0.048	1		
Fruit Mass (g)	0.570	-0.198	0.920	1	
NDVI	0.469	0.126	0.392	0.237	1

Χωρίζοντας συγκεντρωτικά τις περιοχές βιομάζας σε τρία επίπεδα (υψηλής, μέσης και χαμηλής βιομάζας) βρέθηκαν ισχυρές θετικές συσχετίσεις μεταξύ NDVI και βιομάζας στις δύο πρώτες περιοχές, δηλαδή ο δείκτης NDVI μπόρεσε να παρακολουθήσει τις διαφορές βιομάζας. Μικρότερες συσχετίσεις παρατηρήθηκαν στις περιοχές με την μικρή βιομάζα, καθώς το βαμβάκι αναβλάστησε και εν τέλει άνοιξαν οι μικρές κάψες δίνοντας κάποια ποσότητα καρπού. Έτσι, ο δείκτης NDVI δεν μπόρεσε να παρακολουθήσει το φαινόμενο στις περιοχές μικρής βιομάζας.

Πίνακας 5. Συσχετίσεις των παραμέτρων που μετρήθηκαν

ZONE					
<i>Hight biomass</i>					
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)	1				
Leaf Mass (g)	0.867	1			
Stem Mass (g)	0.269	0.712	1		
Fruit Mass (g)	0.598	0.918	0.933	1	
NDVI	0.390	0.797	0.992	0.971	1

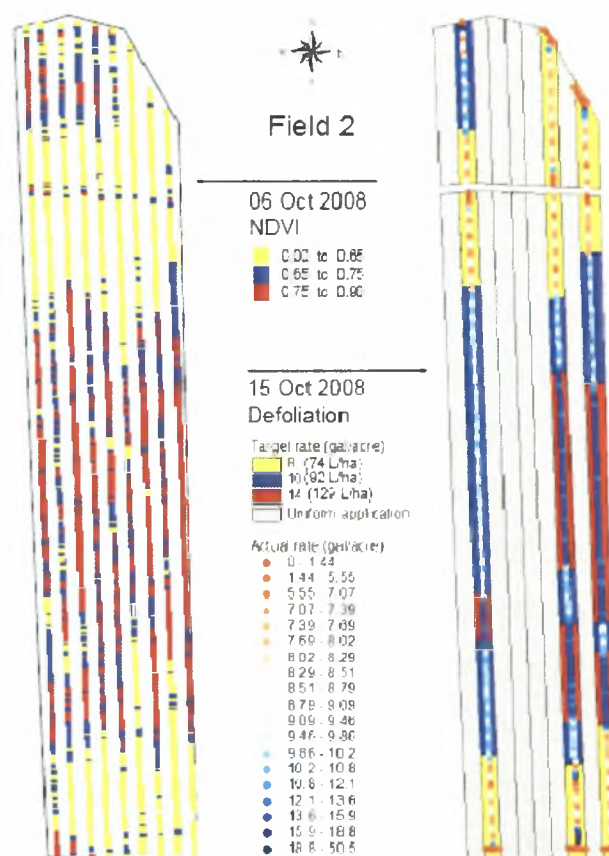
ZONE					
<i>Low biomass</i>					
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)	1				
Leaf Mass (g)	0.893	1			
Stem Mass (g)	0.997	0.919	1		
Fruit Mass (g)	-0.932	-0.705	-0.900	1	
NDVI	0.692	0.933	0.727	-0.487	1

ZONE					
<i>Medium biomass</i>					
	<i>Plant Height (cm)</i>	<i>Leaf Mass (g)</i>	<i>Stem Mass (g)</i>	<i>Fruit Mass (g)</i>	<i>NDVI</i>
Plant Height (cm)	1				
Leaf Mass (g)	1.000	1			
Stem Mass (g)	0.980	0.975	1		
Fruit Mass (g)	0.900	0.891	0.969	1	
NDVI	-0.882	-0.872	-0.959	-0.999	1

4.3.2 Ρυθμιστές αύξησης

Όπως αναφέρθηκε, κάθε αγρός παρουσιάζει τεράστια παραλλακτικότητα με αποτέλεσμα την ανομοιομορφία των καλλιεργούμενων φυτών. Οι ρυθμιστές αύξησης εφαρμόζονται προκειμένου να εξομαλυνθεί αυτό το φαινόμενο, βεβαίως όχι πάντα αποτελεσματικά. Στο συγκεκριμένο πείραμα υπήρξαν πολλές περιοχές που εξ αιτίας της θέσης ή της σύστασης εξανάγκασαν τα φυτά σε μεγάλη ποικιλία ανάπτυξης. Για παράδειγμα στον αγρό 3 υπήρξαν περιοχές με έντονα αμμώδες έδαφος που όπως είναι λογικό, τα φυτά ήταν μικρά, με κατά μέσο όρο ύψους τα 0,3 μέτρα και μονίμως καταπονημένα. Είναι η νοτιότερη περιοχή και παρουσιάζεται με κίτρινο χρώμα στο σχήμα 6. Αντίθετα η κεντρική περιοχή είναι σαφώς πιο γόνιμη και τα φυτά παρουσίασαν μέσο μέγεθος 1,5 μέτρα (κόκκινο χρώμα). Στον ίδιο χάρτη διακρίνεται μία άσπρη γραμμή που υποδηλώνει μία περιοχή με αμφίπλευρη κλίση, οπότε από εκεί στράγγιζε το επιπλέον νερό άρδευσης αλλά κατά τις βαριές βροχοπτώσεις του Αυγούστου πλημμύρησε και τα νερά λίμνασαν για περίπου 2 εβδομάδες. Τα

περισσότερα φυτά καταστράφηκαν, ενώ όσα επέζησαν αποφυλλώθηκαν εκτός εποχής και στη συνέχεια αναβλάστησαν. Παρόμοιες παρατηρήσεις αν και με όχι τόσο ακραία φαινόμενα, πάρθηκαν από τους αγρούς 1 και 2.



Σχήμα 6. Ένας από τους τρεις πειραματικούς αγρούς όπου φαίνεται η έντονη παραλλακτικότητα.

Τα παραπάνω επιβεβαιώθηκαν και πειραματικά, καθώς υπήρξε μεγάλη παραλλακτικότητα στα φυτά που δέχονταν ομοιόμορφη δόση ρυθμιστών αύξησης. Βρέθηκαν στατιστικώς μεγάλες διαφορές μεταξύ των παραμέτρων ύψος, μάζα του καρπού, των φύλλων και των στελεχών. Αντίθετα, τα φυτά που είχαν καταταγεί σε ίδιες ζώνες NDVI δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

4.3.3 Αποφύλλωση

Η αποφύλλωση του αγρού 3 υπήρξε αποτελεσματική για όλες τις μεταχειρίσεις. Με εξαίρεση μιας περιοχής δειγματοληψίας που καταγράφηκαν 14,3 g φύλλων από τα 3 φυτά του δείγματος, σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές υπήρξε πλήρης αποφύλλωση. Αυτό σημαίνει πως και τα τεμάχια που δέχτηκαν τις μεταβαλλόμενες δόσεις αλλά και εκείνα στα οποία εφαρμόστηκε καθολικός ψεκασμός έδωσαν το ίδιο αποτέλεσμα. Με βάση τα αποτελέσματα, στις τρεις περιοχές μεταβαλλόμενης δόσης

εφαρμόστηκαν 271 mg/εκτάριο σκευάσματος ενώ στο μάρτυρα 296 mg/εκτάριο, δηλαδή 8,4 % λιγότερο προϊόν, για το ίδιο αποτέλεσμα αποφύλλωσης.

Στους αγρούς 1 και 2 τα αποτελέσματα είναι δυσκολότερο να αξιολογηθούν καθώς κατά τα μέσα Ιουλίου η χρησιμοποιούμενη γεώτρηση εξαντλήθηκε και οι λίγες βροχοπτώσεις δεν μπόρεσαν να διατηρήσουν εύρωστα τα φυτά, που καταπονήθηκαν και μπήκαν σε φάση ωρίμανσης. Αργότερα, μετά τις έντονες βροχοπτώσεις του Αυγούστου, παρατηρήθηκε έντονη αναβλάστηση και κατά τα μέσα Οκτώβρη υπήρχε βλάστηση 0,2 έως 0,3 μέτρων ανά φυτό με παρουσία ανώριμων καρπών την ίδια στιγμή που τα γηραιότερα φύλλα απορρίπτονταν. Χάρτες βιομάζας που δημιουργήθηκαν στις 15 Οκτωβρίου έδειξαν αποτελέσματα NDVI 0,75 σε ποσοστά 86% και 85% στους αγρούς 1 και 2 αντίστοιχα, τη στιγμή που μία εβδομάδα νωρίτερα στον αγρό 3 μόνο το 33% ήταν επάνω από 0,75. Οι ζώνες βιομάζας που χαραχτήκαν στους αγρούς 1 και 2 στηρίχθηκαν στα επίπεδα NDVI που χρησιμοποιήθηκαν στον αγρό 3, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν μόνο 2 περιοχές βιομάζας, μεγάλης και μέτριας. Μόνο στον αγρό 2 σχηματίστηκαν δύο πολύ μικρές περιοχές με χαμηλή βιομάζα, συνολικής έκτασης 0,2 εκταρίων.

Για τον καθορισμό των δόσεων αποφύλλωσης, ακολουθήθηκε η ίδια δόση όπως και στον αγρό 3. Κατ' επέκταση, το μεγαλύτερο μέρος των αγρών 1 και 2 δέχτηκαν υψηλή δόση αποφυλλωτικών. Στον αγρό 1, η δόση των περιοχών υψηλής βιομάζας ήταν 367 mg/εκτάριο, ενώ εκείνη που πρότεινε ο παραγωγός για τον μάρτυρα ήταν 355 mg/εκτάριο. Αυτό σημαίνει ότι στις δύο περιοχές μεταβαλλόμενης δόσης εφαρμόστηκαν 359 mg/εκτάριο προϊόντος ενώ στις περιοχές του μάρτυρα 355 mg/εκτάριο προϊόντος, δηλαδή 1% περισσότερο στις περιοχές των μεταβαλλόμενων δόσεων. Σε δειγματοληψίες που έγιναν αργότερα βρέθηκε πως στον μάρτυρα παρέμειναν 26,2 g φύλων, ενώ στις περιοχές μεταβαλλόμενης δόσης 12,1 g.

Στον αγρό 2, εφαρμόστηκαν 255 mg/εκτάριο στις περιοχές της μεταβαλλόμενης δόσης, ενώ ο μάρτυρας είχε την ίδια δόση με πριν, δηλαδή χρησιμοποιήθηκε 2,8% λιγότερο προϊόν στις περιοχές των μεταβαλλόμενων δόσεων. Αντίστοιχα, ο μάρτυρας είχε 29,2 g φύλλων, σε σχέση με τις περιοχές της μεταβαλλόμενης δόσης που βρέθηκαν 7,3 g. Αν και υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά στη μάζα των εναπομεινάντων φύλλων, που σημαίνει ότι έγινε σωστότερη αποφύλλωση στις περιοχές της μεταβαλλόμενης δόσης, είναι δύσκολο να πούμε ένα αυτό επηρέασε σημαντικά και την παραγωγή.

5. Χρήση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας στην αραχίδα

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία του δεύτερου σκέλους των πειραμάτων που έγιναν στο Τίφτον της Νότιας Γεωργίας των Η.Π.Α. τα οποία πραγματοποιήθηκαν σε παραγωγικό αγρό με αραχίδα. Σκοπός του πειράματος ήταν η πρόγνωση του σταδίου ωριμότητας της αραχίδας με τη χρήση ανιχνευτή εγγύς υπέρυθρου φωτός. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων παρουσιάστηκαν στο 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος στις 8-10 Οκτωβρίου 2009 στη Θεσσαλονίκη (Περιστερόπουλος και άλλοι, 2009).

5.1 Εισαγωγή

Η Αραχίδα (*Arachis hypogaea*) είναι ένα δικοτυλήδονο ψυχανθές που αξιοποιείται ως ετήσια καλλιέργεια για την παραγωγή καρπών (αράπικο φιστίκι), λίπους (φιστικοβούτυρο) και ελαίου (αραχιδέλαιο). Έχει θαμνοειδή ανάπτυξη και η ανθοφορία του διαρκεί όλη τη βλαστική περίοδο. Μετά την γονιμοποίηση, τα άνθη στρέφονται προς το έδαφος όπου εισέρχονται και εκεί αναπτύσσονται σε καρπίδια έως ότου θεωρηθούν ώριμοι προς συλλογή καρποί. Έχει μικρή αντοχή στο κρύο και απαιτεί άρδευση για ικανοποιητική απόδοση.

Λόγω της ιδιαίτερης ανθοφορίας του, το φυτό της αραχίδας δεν εκδηλώνει έναν ξεκάθαρο φαινότυπο τη στιγμή της πλήρους ωρίμανσης, καθώς δεν υπάρχει στιγμή πλήρους ωρίμανσης. Ενώ τα πρώτα άνθη έχουν εισέλθει στο έδαφος και εξελίσσονται σε καρπούς, νέα άνθη σχηματίζονται. Ένα μέγιστο ανθοφορίας οδηγεί σε ένα μέγιστο καρποφορίας και όταν αυτό το ποσοστό ωριμάσει τότε είναι η καταλληλότερη στιγμή για την εκρίζωση των φυτών και την συλλογή των καρπών. Θεωρείται δεδομένο ότι είναι αδύνατον να συλλεχθεί ολόκληρη η παραγωγή καθώς μέχρι να ωριμάσουν και τα τελευταία καρπίδια ένα μεγάλο ποσοστό των ήδη ώριμων θα έχει υπερωριμάσει και θα είναι ακατάλληλο για συλλογή. Κάτι τέτοιο συμβαίνει είτε γιατί στους ώριμους καρπούς αναπτύσσεται ο μύκητας *Aspergillus flavus* που όπως έχει αποδειχθεί οι μεταβολίτες του, γνωστοί ως αφλατοξίνες, είναι τοξικοί και θεωρούνται καρκινογόνοι, είτε οι καρποί απλώς σαπίζουν και καταστρέφονται στο έδαφος. Συμπερασματικά, η στιγμή συλλογής προσδιορίζεται προσεγγιστικά όταν μετά από ημιεμπειρικές παρατηρήσεις συμπεράνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καρπών έχει ωριμάσει.

Παρ' όλη την ιδιαιτερότητα της αραχίδας και την έλλειψη μεθόδων για τον ακριβή προσδιορισμό της ωριμότητας, είναι θεμελιώδες να συλλεχθούν οι καρποί τη σωστή στιγμή. Προβλήματα συγκέντρωσης της αφλατοξίνης συνδέονται με πρόωμη και κυρίως με όψιμη συλλογή, ενώ αντίστοιχα δυσμενώς επηρεάζεται το αναμενόμενο ύψος της παραγωγής, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του καρπού και τέλος παρατηρείται μείωση της διάρκειας ζωής του κελύφους (Sanders και άλλοι, 1987). Ταυτόχρονα, η ωρίμανση των καρπών εξαρτάται από σειρά αστάθμητων παραγόντων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους (βροχόπτωση), ενώ ειδικές γνώσεις όπως η ανταπόκριση της ποικιλίας στην κλιματικές συνθήκες της περιοχής και την εποχή σποράς θεωρούνται απαραίτητες για την εκτίμηση της κατάλληλης εποχής συγκομιδής. Η μέχρι τώρα διαδεδομένη μέθοδος προσδιορισμού της ωρίμανσης γίνεται μετά από δειγματοληψία σε περιοχές κλειδιά. Στηρίζεται στην αλλαγή του χρώματος του μεσοκαρπίου (hull scrape method) (Williams και Drexler 1981) από το άσπρο (τελείως ανώριμο), στο υποκίτρινο, κίτρινο, πορτοκαλί, καφέ (ώριμο) και στο μαύρο (υπερώριμο) (Silvio και άλλοι, 2000) (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Κλιμάκωση της ωριμότητας των καρπών βάση του χρώματος του μεσοκαρπίου.

Παρά τις κατά καιρούς βελτιώσεις της μεθόδου, όπως πχ η αποκάλυψη του μεσοκαρπίου με νερό υπό πίεση (Williams και Monroe, 1986) αντί για την εκσκαφή με μαχαίρι, η απαίτηση σε εργασία και χρόνο παραμένει προβληματική. Για κάθε δειγματοληψία χρειάζονται κατά μέσο όρο από σαράντα πέντε λεπτά έως μία ώρα με συγκεκριμένο εξοπλισμό που αν και δεν είναι ιδιαίτερα ακριβός ή ογκώδης θεωρείται δύσχρηστος για την επί τόπου εφαρμογή στο χωράφι. Επί πλέον στηρίζεται σε προσωπικές εκτιμήσεις διαχωρισμού του χρώματος που αφ' ενός είναι ακατάλληλη για άτομα με αχρωματοψία (8% των ανδρών στις Η.Π.Α. έχουν κάποιας μορφής

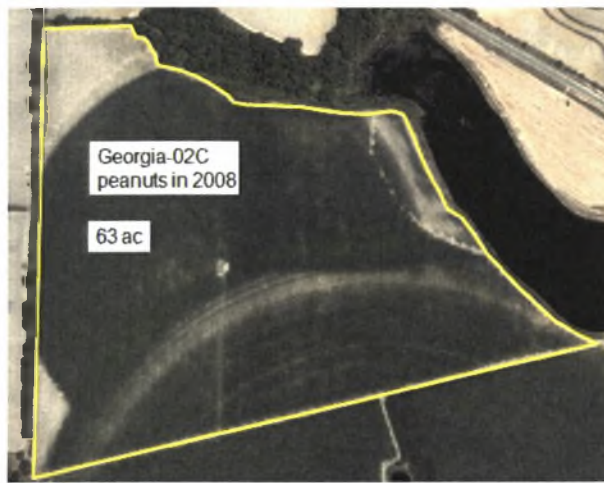
αχρωματοψία) (Pratt, 1991), αφ' ετέρου η έλλειψη εμπειρίας ή η επιθυμία για πρωιμότητα οδηγεί σε λανθασμένες εκτιμήσεις. Τέλος αποτελεί μόνο εκτίμηση της συνολικής ωριμότητας, καθώς στηρίζεται σε δειγματοληψίες, ακριβείς μόνο σε μικρά τεμάχια (Tollner και άλλοι, 1998).

Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν σε εκτεταμένη έρευνα για την εύρεση άλλων μεθόδων που είτε θα είναι αρκετά γρήγοροι και με μικρή προσπάθεια, είτε θα προσφέρουν την δυνατότητα να ελέγχεται ολόκληρη η καλλιέργεια προκειμένου να συλλέγεται κάθε τμήμα της την καταλληλότερη στιγμή. Η τελευταία προσέγγιση συνδέεται άμεσα με μεθόδους γεωργίας ακριβείας και τηλεπισκόπησης (Shahin και άλλοι, 2000) όπως είναι η χρήση ανιχνευτών εγγύς υπέρυθρου φωτός (700 με 1500 nm) που αποτελούν κοινό εργαλείο τέτοιων μεθόδων. Ήδη μετρήσεις με τέτοιες συσκευές όπως το Crop Circle έχουν αποδείξει την χρησιμότητά τους σε συστήματα πρόβλεψης ωριμότητας και αποτελούν αξιόπιστα χρησιμοποιούμενα εργαλεία σε πολλές καλλιέργειες όπως στο βαμβάκι ή σε χορτοδοτικά φυτά

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει τη δυνατότητα εκτίμησης της ωριμότητας της αραχίδας με χρήση τηλεπισκόπησης και ειδικότερα δεικτών βλάστησης που μπορεί να παραχθούν από επίγεια μέσα μέτρησης.

5.2 Υλικά και μέθοδοι

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην Περιοχή του Τιφτ (Τίφτον, Γεωργία, Η.Π.Α.) σε ένα αγρό 400 περίπου στρεμμάτων (Σχήμα 8) . Η καλλιέργεια ήταν ποτιστική σε αμμώδες έδαφος υπό την ποικιλία Georgia Green. Συνολικά έγιναν πέντε σαρώσεις με τον ανιχνευτή εγγύς υπέρυθρου φωτός Crop Circle αρχής γενομένης στις 9 Σεπτεμβρίου όπου και αποφασίστηκε η θέση των σταθμών δειγματοληψίας. Οι υπόλοιπες σαρώσεις έγιναν στις 30 Σεπτεμβρίου, 14 Οκτωβρίου, 23 Οκτωβρίου και 10 Νοεμβρίου.



Σχήμα 8. Ο πειραματικός αγρός στην περιοχή Τίφτ, (Τίφτον, Γεωργία, Η.Π.Α.)

5.2.1 Ανιχνευτές εγγύς υπέρυθρου φωτός

Έγινε χρήση του ανιχνευτή Crop Circle που το λογισμικό του μας έδινε αντανάκλαση ορατού και εγγύς υπέρυθρου φωτός, βάση του οποίου υπολογίστηκαν οι δείκτες βλάστησης RVI (Ratio Vegetation Index) και NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) με την ακόλουθη εξίσωση.

RVI: Εγγύς υπέρυθρο / ερυθρό

NDVI: (Εγγύς υπέρυθρο – ερυθρό) / (Εγγύς υπέρυθρο + ερυθρό) (Nilsson, 1995).

Για τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης RVI και NDVI χρησιμοποιήθηκε ο ανιχνευτής crop circle ASC 210 της εταιρίας Holland Scientific, Inc (5011 South 73 rd Street, Lincoln, NE 68516-4236, Η.Π.Α.). Τα συλλεγόμενα δεδομένα αποθηκεύονταν στον datalogger GeoSCOUT GLS-400 της ίδιας εταιρίας που συνδέονταν απ' ευθείας με τον ανιχνευτή crop circle. Τα RVI δεδομένα αποθηκεύονταν με χρονική σειρά μέσα σε μία απλή SD κάρτα μνήμης, που από εκεί εύκολα μπορούσε να μεταφερθεί σε οποιοδήποτε φορητό ή σταθερό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία (Σχήμα 9)



Σχήμα 9. Ο ανιχνευτής crop circle και το datalogger GeoSCOUT

Ο ανιχνευτής crop circle ήταν προσαρμοσμένος στο εμπρόσθιο τμήμα του ελκυστήρα σε απόσταση 75 εκατοστών (30 ιντσών) από το ύψος των φυτών. Η κεφαλή λήψης των μετρήσεων είχε στραφεί προς τα κάτω, κάθετα στην φυτική επιφάνεια, προκειμένου να σαρώνει μία περιοχή πλάτους 70 εκ. (28 ιντσών). Η αραχίδα ήταν σπαρμένη σε διπλές σειρές σε υπερυψωμένη γραμμή (σαμαράκι). Η απόσταση μεταξύ των δίδυμων σειρών ήταν 2,10 μ. (7 πόδια). Το άνοιγμα των τροχών του ελκυστήρα ήταν επίσης στα 2,10 μ. (7 πόδια) προκειμένου να περνά επάνω από την κάθε σειρά χωρίς να την καταστρέφει (Σχήμα 10).

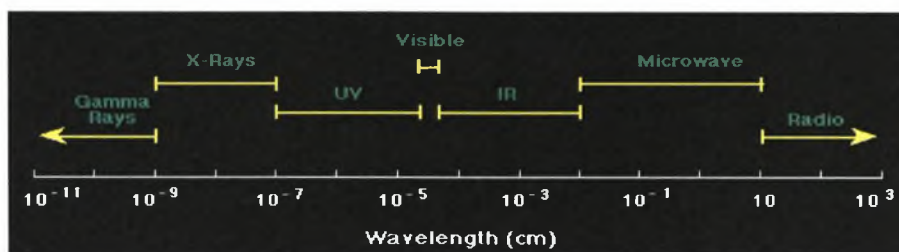


Σχήμα 10. Άποψη του ανιχνευτή crop circle και του αγρού

Η σάρωση γινόταν ανά τρεις γραμμές και κατά μήκος όλης της γραμμής οπότε σαρώνονταν το 1/3 της συνολικής έκτασης του αγρού, περίπου 92 σειρές. Η ταχύτητα του ελκυστήρα ήταν μεταξύ 9 και 12 km/h (5 και 7 μίλια ανά ώρα) προκειμένου να αποφευχθούν οι ισχυρές αναταράξεις που ήταν δυνατό να επηρεάσουν τις μετρήσεις λόγω απόκλισης από τη θέση του οργάνου. Αν και κατά την διάρκεια της σάρωσης παρατηρήθηκαν αλλαγές στην ένταση του φωτός λόγω περιοδικής νέφωσης και της

κίνησης του ηλίου (χρειάζονταν περίπου 6,5 ώρες για να σαρωθεί η έκταση) δεν υπάρχει λόγος αναξιοπιστίας καθώς ο ανιχνευτής στέλνει το δικό του φως σε υψηλή χρονική συχνότητα ώστε να μην επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες.

Ομοίως με το προηγούμενο κεφάλαιο, θα αναφερθεί εν συντομία η γενική φιλοσοφία των ανιχνευτών αντανάκλασης εγγύς υπέρυθρου φωτός. Με τον όρο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, ορίζεται ολόκληρο το φάσμα της ακτινοβολίας μετρημένο σε μήκη κύματος. Για την γεωργική πρακτική τα μέρη του φάσματος που είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα είναι το ορατό (400-700 nm) που περιέχονται τα μήκη κύματος του ιώδους, πράσινου και κόκκινου και το εγγύς υπέρυθρο (700-1500 nm) που βρίσκεται σε αρκετά κοντινή περιοχή με το ορατό (Σχήμα 11).



Σχήμα 11. Ανάλυση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Έχει παρατηρηθεί ότι τα υγιή φυτά απορροφούν την μεγαλύτερη ποσότητα στο μήκος του κόκκινου ενώ αντανακλούν στο εγγύς υπέρυθρο. (Hopkins και άλλοι, 2004). Ακόμα και ίχνη χλωρώσεων που τα ανθρώπινα μάτια αδυνατούν να ανιχνεύσουν είναι απόλυτα ορατά με την χρήση δεικτών βλάστησης που το μαθηματικό τους μοντέλο στηρίζεται στα ποσοστά αντανάκλασης ορατού και υπέρυθρου. Η μέθοδος στηρίζεται στην αλλαγή χρώματος των φύλλων που έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του ποσού αντανάκλασης. Η αυξομείωση της βιομάζας, χλωρωτικά φαινόμενα λόγω τροφопενίας ή ακραίων καιρικών συνθηκών και προσβολές στη φυλλική επιφάνεια είναι οι βασικοί λόγοι που επηρεάζουν το χρώμα της κόμης.

5.2.2 Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας

Για να ελεγχθεί η υπόθεση ότι μπορεί να εκτιμηθεί η ωριμότητα με τους δείκτες βλάστησης, παράλληλα με τον προσδιορισμό των RVI και NDVI μετριούνταν η ωριμότητα με την κλασσική μέθοδο δηλαδή με συλλογή δειγμάτων από το χωράφι και οπτική παρατήρηση. Μετά την πρώτη σάρωση στην υπό μελέτη έκταση, επιλεχτήκαν 10 σημεία δειγματοληψίας σύμφωνα με τις υποδείξεις του δείκτη βλάστησης RVI. Κάθε θέση αντιπροσώπευε μία ευρύτερη περιοχή κοινής τιμής RVI από όπου

συλλέγονταν 10 φυτά αραχίδας σε μία απόσταση περίπου 10 μέτρων. Για την συλλογή κάθε ενός εκριζώνονταν τουλάχιστον 3 με 4 φυτά, διαχωρίζονταν προσεκτικά τα ακριανά και το μεσαίο συλλέγονταν σε πλαστικό σάκο στον οποίο αναγράφονταν ο αριθμός της θέσης δειγματοληψίας. Από τα 10 αυτά φυτά χρησιμοποιούταν συνήθως τα 9 ώστε να συγκεντρωθούν 200 περίπου καρποί και να γίνει ο χρωματικός έλεγχος του μεσοκαρπίου για τον προσδιορισμό της ωριμότητας με την κλασική μέθοδο. Ταυτόχρονα λήφθηκαν δείγματα εδαφικής υγρασίας με το ανιχνευτή εδαφικής υγρασίας Spectrum Technologies TDR 300, της εταιρίας Fieldscout (Σχήμα 12).

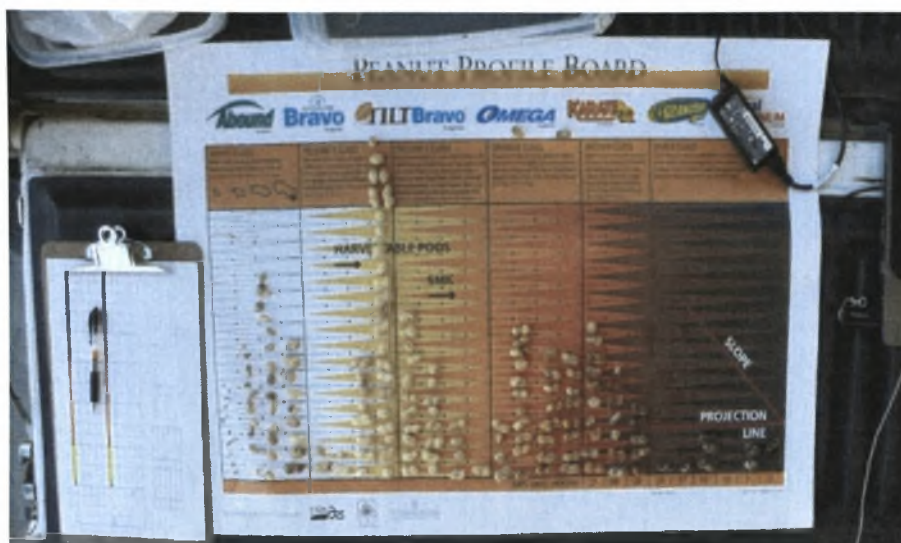


Σχήμα 12. Ο ανιχνευτής εδαφικής υγρασίας TDR 300

Παράλληλα, τα 10 αυτά φυτά ανά θέση δειγματοληψίας, μετά τον προσδιορισμό ωρίμανσης, ξηραίνονταν σε κλίβανο και ζυγίζονταν ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό τους βάρος (υπολογισμός βιομάζας).

5.2.3 Κλασσική μέθοδος υπολογισμού της ωριμότητας

Τα υλικά που απαιτούνται είναι ένα δείγμα 200 περίπου καρπών, ένας μικρός συμπιεστής νερού με ένα συρμάτινο δοχείο και ο χρωματικός πίνακας (εικόνα 13) με τον οποίο αξιολογήθηκε η ωριμότητα των καρπών βάση του χρώματος του μεσοκαρπίου. Ο πίνακας είναι χωρισμένος σε μία λευκή και πέντε χρωματικές ζώνες που υποδιαιρούνται σε 3 έως 6 κατηγορίες.



Σχήμα 13. Ο χρωματικός πίνακας προσδιορισμού της ωριμότητας της αραχίδας

Αρχικά προσδιορίστηκε η ημερομηνία δειγματοληψίας. Μια μέση ποικιλία αραχίδας έχει βιολογικό κύκλο μεταξύ 125 και 145 ημερών. Στόχος ήταν να γίνουν τουλάχιστον 2 ή 3 δειγματοληψίες ώστε να υπάρξει μία εικόνα της διαβάθμισης του ποσοστού ωρίμανσης των καρπών και για αυτόν τον λόγο η πρώτη δειγματοληψία γίνεται περίπου στις 110 ημέρες από την σπορά. Στη συνέχεια, διαχωρίζουμε τον αγρό σε περιοχές δειγματοληψίας (δεδομένης της παραλλακτικότητας του αγρού) και παίρνουμε τόσα δείγματα όσες και οι υπό εξέταση περιοχές. Ένας τρόπος για να έχουμε αξιόπιστο δείγμα είναι να αφαιρούμε περίπου 10 φυτά από κάθε σημείο δειγματοληψίας προκειμένου να συγκεντρωθούν τουλάχιστον 200 καρποί. Στη συνέχεια συλλέγουμε τέσσερα φυτά ανά τρέχον μέτρο από τα οποία κρατούμε τα δύο κεντρικά έως ότου συγκεντρωθούν δέκα. Το κάθε δείγμα τοποθετείται σε διαφορετικό σάκο και αφού συγκεντρωθεί το σύνολο των δειγμάτων, από κάθε σάκο αφαιρούνται τόσα φυτά ώστε το σύνολο να αποτελεί ένα δείγμα μεταξύ 200 και 220 καρπών. Σε περίπτωση που έχουν ήδη συγκεντρωθεί 200 καρποί αλλά στο φυτό από όπου συλλέχθηκε ο διακοσιοστός υπάρχουν και άλλοι, τότε γίνεται η συλλογή και των υπόλοιπων. Από το κάθε φυτό αφαιρούνται όλοι οι καρποί από τους μεγαλύτερους μέχρι και τους πιο μικρούς, διαμέτρου λίγων χιλιοστών (όσο περίπου και το κεφάλι ενός σπέρτου). Αρχικά διαχωρίζονται οι τελείως ανώριμοι και λευκοί καρποί, που ταξινομούνται βάση του σχήματος και του μεγέθους τους, και στη συνέχεια οι ωριμότεροι και αντίστοιχα όλο και πιο έγχρωμοι όπου ταξινομούνται μόνο βάση του χρώματός τους. Προφανώς οι μικροί και ανώριμοι καρποί δεν αποφλοιώνονται με πίεση νερού καθώς θα καταστρέφονταν, οπότε τοποθετούνται αμέσως στον χρωματικό πίνακα, είτε βάση του σχήματός τους για τους ιδιαζόντως ανώριμους που δεν έχουν αναπτύξει το χαρακτηριστικό καμπυλωτό σχήμα, είτε βάση του μεγέθους τους για τους λίγο ωριμότερους και συνήθως τελείως άχρωμους (Σχήμα 14). Για τον λόγο αυτό, η λευκή

περιοχή του πίνακα είναι χωρισμένη όχι βάση της σταδιακής αλλαγής του χρώματος μα βάση της σταδιακής αλλαγής του σχήματος και του μεγέθους.



Σχήμα 14. Φωτογραφική απεικόνιση μέρους του χρωματικού πίνακα όπου φαίνεται η λευκή περιοχή με τους ανώριμους και μαλακούς καρπούς τοποθετημένους ανά μέγεθος και σχήμα και η κίτρινη με τους καρπούς ταξινομημένους ανά χρώμα.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο καρπός της αραχίδας αναπτύσσει το τελικό του μέγεθος προτού σκληρύνει εντελώς, οπότε κατά την πρώτη δειγματοληψία αναμένεται να βρεθούν αρκετοί πλήρως ανεπτυγμένοι μα ιδιαιτέρως μαλακοί καρποί που θα είναι αδύνατον να αποφλοιωθούν με πίεση νερού και θα τοποθετηθούν μόνο βάση του μεγέθους τους στον πίνακα καθώς ως ανώριμοι έχουν λευκό μεσοκάρπιο. Στους υπόλοιπους αφαιρούμε τους εξωτερικούς χιτώνες του εξωκαρπίου μέχρι το μεσοκάρπιο, είτε ξύνοντας με ένα μικρό μαχαίρι (μέθοδος για την εκτίμηση μόνο μικρών δειγμάτων) είτε με πίεση νερού. Στην δεύτερη περίπτωση τοποθετούμε το δείγμα των διακοσίων καρπών σε ένα συρμάτινο κυλινδρικό δοχείο με κενά αρκετά μεγάλα και με υπερυψωμένο πάτο ώστε να απομακρύνονται με ευκολία οι εξωτερικοί χιτώνες. Εφαρμόζοντας πίεση με ένα κοινό συμπιεστή νερού τα εξωτερικά και σαφώς μαλακότερα μέρη του καρπού ξεκολλούν και απομακρύνονται (Σχήμα 15).



Σχήμα 15. Διαδικασία αποφλοιώσης καρπών αραχίδας

Η πίεση που απαιτείται αρκεί να είναι περίπου μίας ατμόσφαιρας, ενώ τα ακροφύσια τύπου ομπρέλας με τα οποία σχηματίζεται κωνική δέσμη νερού, θεωρούνται τα καταλληλότερα. Οι πρόσφατα αποφλοιωμένοι καρποί πρέπει να ενυδατώνονται συνεχώς προκειμένου να μην αλλάξει το χρώμα τους λόγω της επαφής τους με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το αντιπροσωπευτικότερο σημείο του καρπού, βάση του οποίου θα εκτιμήσουμε το χρώμα του μεσοκαρπίου, είναι το μέρος του λοβού που βρισκόταν ο ποδίσκος, δηλαδή στο σημείο ένωσης με το υπόλοιπο φυτό. Εναλλακτικά, κρίνουμε από την γενικότερη εικόνα του καρπού ιδίως στις περιπτώσεις που είναι έντονα χρωματισμένος στο πρώτο μισό μέρος του και πολύ άχρωμος στο δεύτερο μισό, που συνήθως, ωριμάζει λίγο αργότερα. Προφανώς η εμπειρία του εκτιμητή παίζει σημαντικό ρόλο, μα με λίγες μόνο επαναλήψεις ο καθένας είναι ικανός να έχει μία γενική εικόνα της ωριμότητας του δείγματος χωρίς μεγάλες αποκλίσεις. Σημαντικό είναι να τονίσουμε ότι παρατηρούνται και λάθη από ψυχολογικούς παράγοντες, κυρίως λόγω της επιθυμίας των παραγωγών να συγκομίσουν νωρίτερα, τόσο ώστε παρερμηνεύουν τις χρωματικές διαφορές των μεσοκαρπίων και οδηγούνται σε λανθασμένες αποφάσεις.

Η μέτρηση των RVI και NDVI έγινε για ολόκληρη την επιφάνεια του αγρού ενώ της ωρίμανσης με την κλασσική μέθοδο περιορίζονταν στο σημείο δειγματοληψίας. Για αυτόν τον λόγο, έχοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε σημείου δειγματοληψίας, υπολογίστηκε ο μέσος όρος RVI και NDVI γύρω από τα σημεία αυτά σε κυκλικές περιοχές 10 και 20 μέτρων διαμέτρου. Στη συνέχεια έγιναν συσχετίσεις μεταξύ των ποσοστών ωρίμανσης και των μέσων όρων του RVI και NDVI των κυκλικών περιοχών επάνω από τα σημεία δειγματοληψίας.

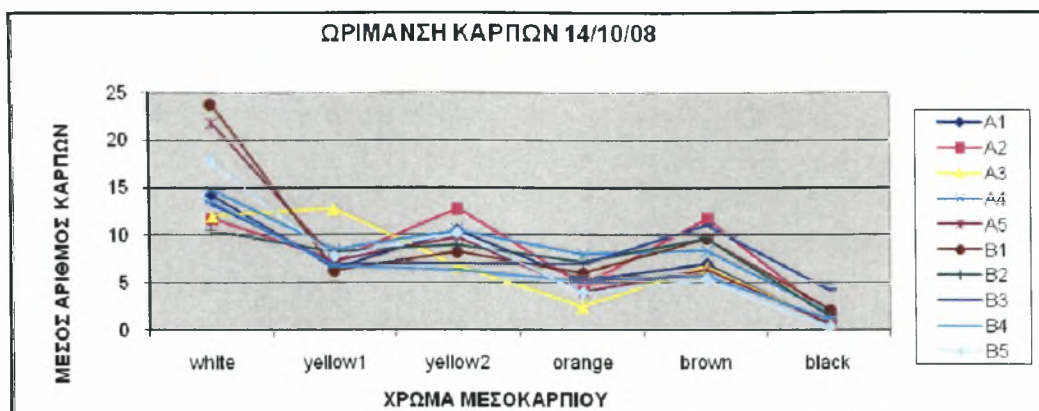
5.3 Αποτελέσματα και συζήτηση

Στο αγρό που έγινε το πείραμα υπήρξαν ορισμένες επιλογές του παραγωγού που επηρέασαν δυσμενώς την ομαλή πορεία του πειράματος. Επέλεξε μια όψιμη ποικιλία ενώ η σπορά έγινε όψιμα. Κατ' επέκταση, η ανθοφορία και η ωρίμανση των καρπών δεν ακολούθησε τη συνηθισμένη πορεία ανάπτυξης καθώς το φυτό παρήγαγε συνεχώς νέα άνθη. Σε αυτό φαίνεται να συνετέλεσε και η υδατική καταπόνηση που παρατηρήθηκε σχεδόν καθ' όλη την διάρκεια της ανάπτυξης. Κάτι τέτοιο υποδεικνύει ο μέσος όρος της υγρασίας εδάφους που μετρήθηκε μετά από κάθε δειγματοληψία και κυμάνθηκε μεταξύ 2,66% έως 5.87% (πίνακας 6).

Πίνακας 6. Μέσοι όροι εδαφικής υγρασίας

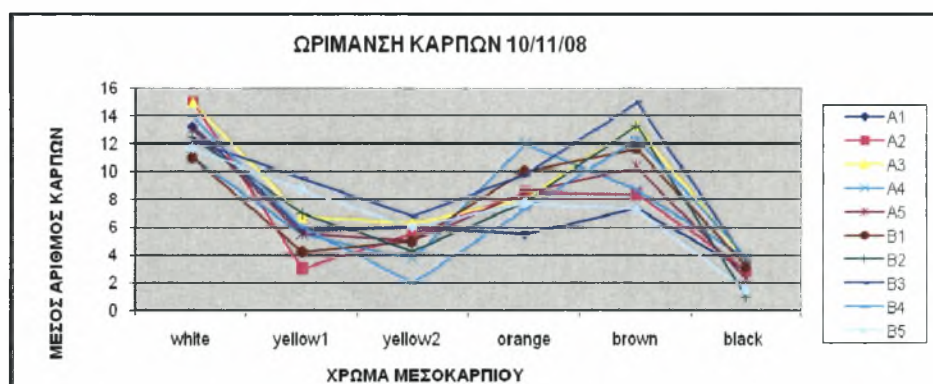
	Average moisture %			
	Date			
Sample No	9/30/2008	10/14/2008	10/23/2008	11/10/2008
A1	3.7	5	2.2	3.7
A2	6	6.1	3	4.6
A3	3.5	4.8	2	3.8
A4	1.7	4.3	1.2	4.3
A5	5.3	5.1	2.2	3.3
B1	8.5	6.1	3.1	3.6
B2	7.7	4.4	3	3.7
B3	2.5	6.5	3.7	4.3
B4	10.1	5	3.3	3.5
B5	9.7	4.8	2.9	3.8
Average	5.87	5.21	2.66	3.86

Η επιθυμητή ωρίμανση πρέπει να σχηματίζει μια κωδωνοειδή καμπύλη στον χρωματικό πίνακα. Σε περίπτωση υδατικής καταπόνησης, τροφοπενίας ή ακραίων περιβαλλοντικών συνθηκών, το φυτό επιβραδύνει της ανάπτυξη των υπό ωρίμανση καρπών και δημιουργεί νέους με αποτέλεσμα να σχηματίζονται δύο ή και τρεις καμπύλες ανάπτυξης (Σχήματα 16 και 17) (Tollner και άλλοι, 1998). Στο σχήμα 17 φαίνονται τα τρία υψηλά σημεία, ένα στη περιοχή των άσπρων που σημαίνει πως το φυτό σχηματίζει νέους καρπούς, ένα στη περιοχή των κίτρινων 2, που δηλώνει ένα μέγιστο ημιώριμων καρπών και ένα τρίτο στη περιοχή των καφέ που κανονικά θα ήταν το σήμα ότι σύντομα θα έπρεπε να ξεκινήσει η συγκομιδή.



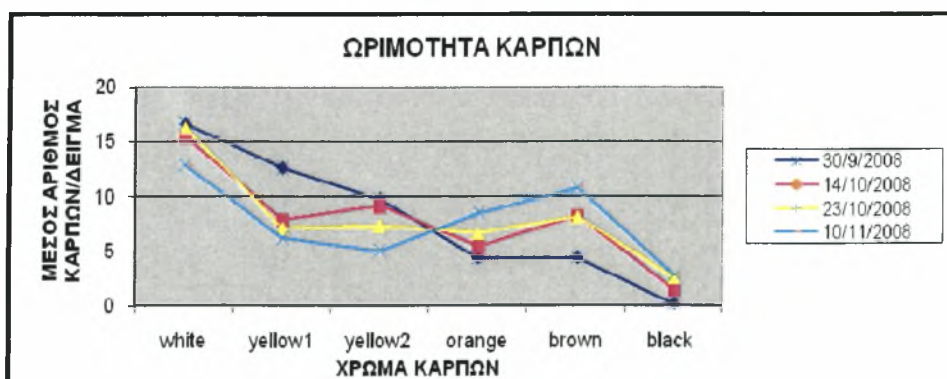
Σχήμα 16. Η πορεία της ανάπτυξης των καρπών στις 14 Οκτωβρίου 2008

Καθώς παρατηρήθηκε μη ομαλή ωρίμανση η απόφαση του καταλληλότερου σταδίου ωριμότητας υπόκειται σε προσωπικές εκτιμήσεις του παραγωγού. Στην παρούσα περίπτωση, ο παραγωγός αποφάσισε να μην συλλέξει και στην επόμενη μέτρηση βρέθηκε ένα δεύτερο μέγιστο στη ζώνη των καφέ (Σχήμα 18).



Σχήμα 17. Η πορεία ανάπτυξης των καρπών στις 10 Νοεμβρίου 2008

Βλέποντας τους μέσους όρους στα τελευταία στάδια ανάπτυξης διακρίνεται ότι συνεχώς παράγονται νέοι καρποί ενώ οι ήδη υπάρχοντες ωριμάζουν ανομοιόμορφα (Σχήμα 18).



Σχήμα 18. Η πορεία ανάπτυξης των καρπών καθ' όλη την διάρκεια της καλλιέργειας

Μελετώντας λίγο προσεκτικά τα προηγούμενα δεν θα αποτελούσε έκπληξη η αναμενόμενη χαμηλή συσχέτιση που βρέθηκε κατά την στατιστική ανάλυση. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της σύγκρισης πραγματικής βιομάζας των δειγμάτων και των ποσοτήτων RVI και NDVI επάνω από την περιοχή δειγματοληψίας. Η πρώτη ομάδα μετρήσεων έγινε συγκρίνοντας την πραγματική βιομάζα και των μέσο όρο των τιμών RVI και NDVI μίας περιοχής διαμέτρου 10 μέτρων γύρω από το σημείο δειγματοληψίας (Πίνακας 7):

Πίνακας 7. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων μεταξύ βιομάζας και των μέσο όρο των τιμών RVI και NDVI μίας περιοχής διαμέτρου 10 μέτρων γύρω από το σημείο δειγματοληψίας

10 meter diameter

total correlation 30 September 2008

	Orange	Brown	Black	Orange-Brown	Orange-Brown-Black	moisture %	peanut (gr)	plant (gr)	RVI Average	NDVI Average
Orange	1.00									
Brown	0.14	1.00								
Black	0.22	0.04	1.00							
Orange-Brown	0.70	0.81	0.16	1.00						
Orange-Brown-Black	0.71	0.78	0.30	0.99	1.00					
moisture %	-0.28	-0.07	0.18	-0.22	-0.18	1.00				
peanut (gr)	0.66	0.00	0.52	0.39	0.46	-0.25	1.00			
plant (gr)	0.65	0.28	0.36	0.59	0.62	-0.12	0.83	1.00		
RVI Average	-0.18	-0.11	-0.28	-0.18	-0.22	-0.17	-0.38	-0.10	1.00	
NDVI Average	-0.25	-0.07	-0.25	-0.20	-0.23	-0.19	-0.42	-0.15	0.99	1.00

total correlation 14 October 2008

	Orange	Brown	Black	Orange-Brown-Black	RVI Average	moisture %	peanut (gr)	plant (gr)	RVI Average	NDVI Average
Orange	1									
Brown	0.3572	1								
Black	0.5371	0.602	1							
Orange-Brown	0.8396	0.807	0.689	1						
Orange-Brown-Black	0.7826	0.788	0.877	0.95294	1					
moisture %	-0.1311	0.512	0.59	0.21522	0.38997	1				
peanut (gr)	0.2014	0.411	0.354	0.36607	0.3914	0.49636	1			
plant (gr)	-0.2846	0.134	0.054	-0.1021	-0.0452	0.270397	0.6522	1		
RVI Average	-0.1865	0.481	0.292	0.1621	0.22986	0.401402	-0.29	-0.24	1	
NDVI Average	-0.1687	0.483	0.297	0.17446	0.24039	0.36332	-0.286	-0.25	0.99456	1

total correlation 23 October 2008

	Orange	Brown	Black	Orange-Brown-Black	Orange-Brown-Black	moisture %	peanut (gr)	plant (gr)	RVI Average	NDVI Average
Orange	1									
Brown	-0.1215	1								
Black	-0.0891	0.332	1							
Orange-Brown	0.7532	0.561	0.146	1						
Orange-Brown-Black	0.4175	0.584	0.778	0.7351	1					
moisture %	-0.1875	0.718	0.444	0.31948	0.50704	1				
peanut (gr)	0.0014	-0.142	0.047	-0.0933	-0.0271	0.154203	1			
plant (gr)	-0.0784	-0.119	0.048	-0.1441	-0.0586	-0.14002	0.68	1		
RVI Average	-0.0742	0.025	0.377	-0.0452	0.22983	0.39235	0.0955	0.23	1	
NDVI Average	0.0429	0.047	0.407	0.0672	0.3215	0.402824	0.1459	0.26	0.98944	1

Total correlation 10 November 2008

	Orange	Brown	Black	Orange-Brown-Black	Orange-Brown-Black	moisture %	peanut (gr)	plant (gr)	RVI Average	NDVI Average
Orange	1									
Brown	-0.1472	1								
Black	0.2197	-0.154	1							
Orange-Brown	0.6805	0.625	0.059	1						
Orange-Brown-Black	0.6747	0.434	0.57	0.85429	1					
moisture %	0.3257	-0.327	0.187	0.0151	0.10982	1				
peanut (gr)	-0.2647	0.591	-0.17	0.22903	0.10024	0.248797	1			
plant (gr)	0.0137	0.196	0.383	0.15635	0.32829	0.408367	0.317	1		
RVI Average	-0.0295	-0.279	-0.189	-0.2296	-0.2874	0.145148	0.0677	0.09	1	
NDVI Average	-0.0446	-0.259	-0.273	-0.2269	-0.3287	0.086042	0.0596	0.05	0.99028	1

Ομοίως, η δεύτερη ομάδα μετρήσεων εμπεριέχει τα αποτελέσματα των συγκρίσεων της πραγματικής βιομάζας και των τιμών RVI και NDVI περιοχής 20 μέτρων διαμέτρου (Πίνακας 8):

Πίνακας 8. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων μεταξύ βιομάζας και των μέσο όρο των τιμών RVI και NDVI μίας περιοχής διαμέτρου 10 μέτρων γύρω από το σημείο δειγματοληψίας

20 meters diameter
30 September 2008

	Orange	Brown	Black	Orange- Brown	Orange- Brown- Black	moisture %	peanut (gr)	plant (gr)	RVI Average	NDV I Average
Orange	1.00									
Brown	0.14	1.00								
Black	0.22	0.04	1.00							
Orange-Brown	0.70	0.81	0.16	1.00						
Orange-Brown-Black	0.71	0.78	0.30	0.99	1.00					
moisture %	-0.28	-0.07	0.18	-0.22	-0.18	1.00				
peanut (gr)	0.66	0.00	0.52	0.39	0.46	-0.25	1.00			
plant (gr)	0.65	0.28	0.36	0.59	0.62	-0.12	0.83	1.00		
RVI Average	-0.11	-0.07	-0.23	-0.12	-0.15	-0.15	-0.36	-0.07	1.00	
NDVI Average	-0.16	-0.05	-0.19	-0.13	-0.16	-0.15	-0.38	-0.10	1.00	1.00

14 October 2008

	Orange	Brown	Black	Orange- Brown- Black	RVI Average	moisture %	peanut (gr)	plant (gr)	RVI Average	NDV I Average
Orange	1									
Brown	0.3572	1								
Black	0.5371	0.602	1							
Orange-Brown-Black	0.8396	0.807	0.689	1						
RVI Average	0.7826	0.788	0.877	0.95294	1					
moisture %	-0.1311	0.512	0.59	0.21522	0.38997	1				
peanut (gr)	0.2014	0.411	0.354	0.36607	0.3914	0.49636	1			
plant (gr)	-0.2846	0.134	0.054	-0.1021	-0.0452	0.270397	0.6522	1		
RVI Average	-0.104	0.592	0.333	0.27883	0.32448	0.324735	-0.277	-0.15	1	
NDVI Average	-0.0708	0.582	0.331	0.29356	0.33369	0.27142	-0.293	-0.17	0.996	1

23 October 2008

	Orange	Brown	Black	Orange- Brown- Black	Orange- Brown- Black	moisture %	peanut (gr)	plant (gr)	RVI Average	NDV I Average
Orange	1									
Brown	-0.1215	1								
Black	-0.0891	0.332	1							
Orange-Brown-Black	0.7532	0.561	0.146	1						
Orange-Brown-Black	0.4175	0.584	0.778	0.7351	1					
moisture %	-0.1875	0.718	0.444	0.31948	0.50704	1				
peanut (gr)	0.0014	-0.142	0.047	-0.0933	-0.0271	0.154203	1			
plant (gr)	-0.0784	-0.119	0.048	-0.1441	-0.0586	-0.14002	0.68	1		
RVI Average	0.0569	0.069	0.437	0.09318	0.3589	0.43054	0.1843	0.29	1	
NDVI Average	0.1632	0.084	0.445	0.19197	0.42664	0.424291	0.2121	0.3	0.992	1

10 November 2008

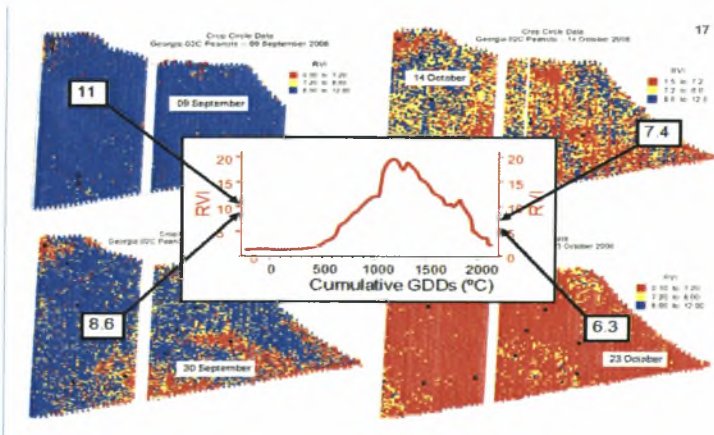
	Orange	Brown	Black	Orange- Brown- Black	Orange- Brown- Black	moisture %	peanut (gr)	plant (gr)	RVI Average	NDV I Average
Orange	1									
Brown	-0.1472	1								
Black	0.2197	-0.154	1							
Orange-Brown-Black	0.6805	0.625	0.059	1						
Orange-Brown-Black	0.6747	0.434	0.57	0.85429	1					
moisture %	0.3257	-0.327	0.187	0.0151	0.10982	1				
peanut (gr)	-0.2647	0.591	-0.17	0.22903	0.10024	0.248797	1			
plant (gr)	0.0137	0.196	0.383	0.15635	0.32829	0.408367	0.317	1		
RVI Average	-0.2174	-0.203	-0.334	-0.3217	-0.439	0.067315	0.1982	0.08	1	
NDVI Average	-0.255	-0.137	-0.409	-0.3025	-0.4623	-0.00021	0.2372	0.05	0.993	1

Από τις δύο αυτές ομάδες ξεχωρίζουμε τον πίνακα 9. Στις 14 Οκτωβρίου υπήρξαν οι υψηλότερες συσχετίσεις μεταξύ καφέ περιοχής και RVI-NDVI μετρήσεων, ίσες με 0,48. Υπολογίζοντας το t-κριτήριο βρέθηκε πως αυτές οι συσχετίσεις δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές οπότε και η αρχική υπόθεση απορρίπτεται.

Πίνακας 9. Συντελεστές συσχέτισης στις 14 Οκτωβρίου

Correlation	Orange	Brown	Black	Orange/Brown	Orange/Brown/Black
RVI average	-0.19	0.48	0.29	0.16	0.23
NDVI average	-0.17	0.48	0.30	0.17	0.24

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι ο μέσος όρος των δεικτών RVI και NDVI παρουσίασε μία συνεχή πτώση σε σχέση με τον χρόνο που δηλώνει ότι οι ανιχνευτές παρακολουθήσαν την ωρίμανση της καλλιέργειας (Σχήμα 19). Καθώς οι μετρήσεις είναι στιγμιαίες είναι αναμενόμενη η επίδραση παραγόντων όπως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες ή η γωνία μέτρησης, καθώς και το δυναμικό σύστημα φυτά-ατμόσφαιρα-έδαφος (Inoue 2003). Το υδατικό, θερμικό ή θρεπτικό σοκ που πιθανόν να υφίσταται η καλλιέργεια ίσως να μην επιδράσει άμεσα την ωρίμανση, αντίθετα όμως να αλλάξει κατά πολύ η αντανάκλαστική ικανότητα της κόμης. Ο πιθανότερος λόγος που στο συγκεκριμένο πείραμα είχαμε χαμηλά ποσοστά συσχέτισης φαίνεται να είναι η ανομοιομορφη άρδευση που προκαλούσε αναβλάστηση σχεδόν μετά από κάθε πότισμα, η επιλογή όψιμης ποικιλίας που οδήγησε σε καθυστερημένη ωρίμανση και ένας πρώιμος παγετός που κατέστρεψε ελαφρά μέρος της κόμης. Παρ’ όλα τα παραπάνω, ο μέσος όρος των τιμών RVI και NDVI δημιουργεί αισιόδοξα μηνύματα για την συνέχιση των πειραμάτων με καλλίτερες προϋποθέσεις από του παρόντος πιλοτικού εγχειρήματος.



Σχήμα 19. Η σταδιακή μείωση του δείκτη RVI καθώς ωριμάζει η καλλιέργεια.

6. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω πειράματα συμπεραίνουμε η χρήση αισθητήρων εγγύς υπέρυθρου φωτός μπορεί να αποτελέσει λύση σε κάποιες από τις δυσκολίες που παρουσιάζουν οι καλλιέργειες του βαμβακιού και της αραχίδας. Συγκεκριμένα φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των τιμών NDVI και της παρατηρούμενης βιομάζας, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να εφαρμοστούν τεχνικές μεταβαλλόμενης δόσεις ορμονών στο βαμβάκι. Στην αραχίδα αντίστοιχα, η χρήση τους ως λύση για τον προσδιορισμό της ωριμότητας των καρπών είναι συγκρατημένα υποσχόμενη αλλά επαρκής. Και στις δύο περιπτώσεις επιπλέον πειράματα θα πρέπει να γίνουν ώστε να υποστηριχθούν περισσότερο τα παραπάνω αποτελέσματα καθώς οι βαριές βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου φαίνεται να επηρέασαν κατά πολύ την πορεία των πειραμάτων. Ειδικά για την περίπτωση του βαμβακιού, νέα δεδομένα αναμένονται να δημοσιευθούν καθώς τα πειράματα συνεχίστηκαν με επιτυχία, προσφέροντας αποτελέσματά που ίσως γίνουν το έναυσμα για την αλλαγή στον τρόπο καλλιέργειας που έως τώρα γνωρίζουμε.

7. Βιβλιογραφία

Αγγελοπούλου Α.. 2002. Γεωργία ακριβείας στην καλλιέργεια μήλων. Διδακτορική διατριβή, σελίδα 3. Εργαστήριο γεωργικής μηχανολογίας, σχολή γεωπονικών επιστημών και αγροτικού περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Περιστερόπουλος Α., Βελλίδης Γ., Φουντάς Σ. και Γέμτος Θ.Α.. Χρήση ανιχνευτή εγγύς υπέρυθρου φωτός για την πρόγνωση του σταδίου ωριμότητας της αραχίδας. Εταιρία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, 6ο πανελλήνιο συνέδριο, Θεσσαλονίκη 8-10 Οκτωβρίου 2009

Ahmad, I.S., Reid, J.F., Noguchi, N., Hansen, A.C., 1999. Nitrogen sensing for precision agriculture using chlorophyll maps. ASAE paper No. 99-3035, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA.

Anom, S.W., Shibusawa, S., Sasao, A., Sakai, K., Sato, H., Hirako, S., Blackmore, S., 2000. Soil parameter maps using the real-time spectrophotometer. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Auernhammer, H., Demmel, M., Maidl, F.X., Schmidhalter, U., Schneider, T., Wagner, P., 1999. On-farm communication system for precision farming with nitrogen real-time application. ASAE Paper No. 99-1150, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA.

Doerge, T., 1998. Defining management zones for precision farming. Crop Insights 8, 21. Drummond, P.E., Christy, C.D., Lund, E.D., 2000. Using an automated penetrometer and soil EC probe to characterize the rooting zone. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_/19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Drummond, P.E., Christy, C.D., Lund, E.D., 2000. Using an automated penetrometer and soil EC probe to characterize the rooting zone. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Ess, D.R., Parsons, S.D., Strickland, R.M., 1997. Evaluation of commercially-available software for grain yield mapping. ASAE Paper No. 97-1033, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA.

Evans, D.E., Sadler, E.J., Camp, C.R., Millen, J.A., 2000. Spatial canopy temperature measurements using center pivot mounted IRTs. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Feyaerts, F., Pollet, P., Gool, L.V., Wambacq, P., 1998. Sensor for weed detection based on spectral measurements. Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, 19_22 July, St. Paul, MN, pp. 1537_1548.

Fridgen, J. J., N.R. Kitchen, K.A. Sudduth, S.T. Drummond, W.J. Wiebold, and C.W. Fraisse. 2004. Management Zone Analyst (MZA): Software for Subfield Management Zone Delineation. *Agron. J.* 96:100–108.

Giles, D. K., Stone, M. L., Dieball, K., 1999. Distributed network system for control of spray droplet size and application rate for precision chemical application. Precision agriculture '99, Part 1 and Part 2. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11-15 July 1999

Goddard, T., 1997. What is precision farming. Proceedings of Precision Farming Conference, January 20 -21. Taber, Alberta, Canada.

Hopkins, W. G., Huner N. A. 2004. Introduction to Plant Physiology. John Wiley and sons, Inc. USA, pp 367-370

Inoue, Y. 2003. Synergy of remote sensing and modeling for estimating ecophysiological processes in plant production. *Plant production science*, Vol 6: 3-16.

Kvien, C., Pocknee, S., 2000. Introduction to Why Management Zone. National Environmentally Sound Production Agriculture Laboratory (NESPAL), College of Agricultural and Environmental Science, The University of Georgia.

Lambert D., Lowenberg-DeBoer J. 2000. Precision Agriculture Profitability Review. Site-specific Management Center. School of Agriculture. Purdue University editions.

Lund, E.D., Christy, C.D., Drummond, P.E., 2000. Using yield and soil electrical conductivity (EC) maps to derive crop production performance information. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_ 19, 2000 Bloomington, MN, USA.

Lutticken, R.E., 2000. Development of an Internet-based communication and information network to progress the implementation of precision agriculture. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_ 19, 2000. Bloomington, MN, USA.

McBRATNEY A., WHELAN B. ANCEV T. 2005. Future Directions of Precision Agriculture. Precision Agriculture, 6, 7–23

Michels, G.J., Piccinni, G., Rush, C.M., Fritts, D.A., 2000. Using infrared transducers to sense greenbug infestation in winter wheat. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_ 19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Nilsson, H. 1995. Remote sensing and image analysis in plant pathology. Annual Review Phytopathology 33:489-528.

Olson K, 1998. Precision agriculture: current economic and environmental issues. Sixth Joint Conference on Food, Agriculture, and the Environment. 31 Aug – 2 Sept 1998. University of Minnesota, St. Paul, MN

Oriade, C., Popp, M., 2000. Precision farming as a risk reducing tool: a whole-farm investigation. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16 _/19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Pena-Yewtukhiw, E.M., Grove, J.H., Beck, E.G., 2000. Nonparametric geostatistics/probabilistic sourcing of nitrate to a contaminated well. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16 _/19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Pratt, W.K. 1991. 2nd Ed. Digital Image Processing. New York, N.Y.: John Wiley & Sons.

Robert P. C. 2002. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. Plant and Soil 247: 143–149.

Sanders, T. H., J. R. Vercellotti, G. V. Giville. 1987. Flavormaturity relationship of florunner peanuts. APRES 19: 42

Shahin, M.A., Verma, B.P., Tollner, E.W. 2000. Transactions of ASAE. Vol. 43(2): 483-490

Shibusawa, S., 1998. Precision Farming and Terra-mechanics. Fifth ISTVS Asia-Pacific Regional Conference in Korea, October 20-22.

Shibusawa, S., Anom, W.S., Sato, H., Sasao, A., 2000. On-line real-time soil spectrophotometer. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16 _ 19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Silvio, H. L., McClendon, R. W. Tollner, E.W. 2000. Improving peanut maturity prediction using a hybrid artificial neural network and fuzzy inference system. Proceedings of the 13th International Conference on Industrial and Engineering Application of Artificial Intelligence and Expert Systems, IEA/AIE 2000, New Orleans, Louisiana, USA, pp 543-548.

Solie, J.B., Thomason, W.E., Raun, W.R., Needham, D.E., Stone, M.L., Wan, J., Johnson, G.V., Washmon, C., Lukina, E.V., 2000. In-season N fertilization using INSEY. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_ 19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Stafford, J.V., 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. Journal of Agricultural Engineering Research 76, 267_ 275.

Thomasson J. A., Sui R., Cox M. S., Al-Rajehy. 2001. A. SOIL REFLECTANCE SENSING FOR DETERMINING SOIL PROPERTIES IN PRECISION AGRICULTURE. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Vol. 44(6): 1445–1453

Tollner, E.W. Boudolf, V., McClendon, R. W., Hung, Y.-C. 1998. Predicting peanut maturity with magnetic resonance. Transactions of ASAE. Vol.41(4): 1199-1205

Vellidis G., M.A. Tucker, C.D. Perry, T. Wells, and C. Kvien. 2004. Predictive cotton lint yield maps from aerial photographs. Precision Agriculture 5(6):547–564.

Vellidis G., Ortiz B., Ritchie G., Peristeropoulos A., Perry C. and Rucker K.. Using GreenSeeker® to drive variable rate application of plant growth regulators and defoliants on cotton. 7th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen, the Netherlands, 6-8 July 2009

Wang, N., Zhang, N., Dowell, F.E., Peterson, D.E., 2001. Design of an optical weed sensor using plant spectral characteristics. Transactions of the ASAE 44 (2), 409-419.

Werner, A., Doelling, S., Jarfe, A., Kuhn, J., Pauly, S., Roth, R., 2000. Deriving maps of yield-potentials through the use of crop growth models, site information and remote sensing. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16_/19, 2000. Bloomington, MN, USA.

Williams, E. J., G. E. Monroe. 1986. Impact blasters for peanut pod maturity determination. Transactions of the ASAE 29(1): 263-266, 275

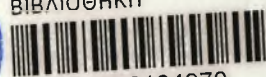
Williams, E. J., J. S. Drexler. 1981. A nondestructive method for determining peanut pod maturity. *Peanut Sci.* 8(2): 134-141

Zhang N., Wang M., Wang N. 2002. Precision agriculture a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture.* 36 (2002) 113/132





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000104970